



**LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU**  
*Lahti University of Applied Sciences*

# PÄÄSTÖKULMAN VAIKUTUS KAPPALEEN PINNANLAATUUN JA ULOSTYÖNTÖVOIMIIN

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Muovitekniikan koulutusohjelma  
Opinnäytetyö  
Syksy 2012  
Tero Juurinen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Muovitekniikan koulutusohjelma

JUURINEN, TERO: Päästökulman vaikutus kappaleen pinnanlaatuun ja  
ulostyöntövoimiin

Muovitekniikan opinnäytetyö, 44 sivua

Syksy 2012

## TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia päästökulman vaikutusta pinnanlaatuun ja ulostyöntövoimiin. Työhön sisältyi koeajojen suunnittelu ja suorittaminen. Työ tehtiin Lahden ammattikorkeakoulun Tekniikan laitoksella.

Työn teoriaosuudessa perehdyttiin eri muoveihin raaka-aineena ja ruiskuvalutekniikkaan. Lisäksi selvitettiin pinnankarheuden teoriaa ja sen mittaamista.

Työn tutkimusosuudessa tutkittiin eri materiaalien, päästökulman, pinnankarheuden ja jälkipaineen vaikutusta kappaleen ulostyönnössä syntyviin pintavirheisiin ja ulostyöntövoimiin. Näytteiden valmistaminen vaati ajoparametrien löytämistä. Pintavirheitä tutkittiin visuaalisesti ja ulostyöntövoimaa mitattiin anturilla, joka oli kiinnitetty muotin ulostyöntötappiin.

Tuloksista havaittiin, että pintavirheitä syntyy enemmän pienemmällä päästöllä ja karheammalla pinnalla. Lisäksi ulostyöntövoima kasvaa, kun jälkipainetta nostaa. Tuloksien luotettavuus kärsii vähäisten näytteiden takia, sekä muotissa olevat virheet vaikuttavat ulostyöntöön.

Avainsanat: päästökulma, pinnanlaatu, pinnankarheus, ulostyöntövoima

Lahti University of Applied Sciences  
Faculty of Technology

JUURINEN, TERO: Influence of the clearing angle on surface quality and  
force of ejection

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 44 pages

Autumn 2012

## ABSTRACT

---

This thesis deals with injection moulding in plastics engineering. The aim of the thesis was to examine the influence of the clearing angle on the surface quality of the samples and on the force of ejection. The work included the planning of trial runs and manufacturing of samples. The study was made for the Faculty of Technology of Lahti University of Applied Sciences.

In the theoretical part of the study, different kinds of plastic and the injection molding process were examined. Then the theory of surface roughness and its measurement was studied.

The practical section investigated how the different raw materials, clearing angle, surface roughness and secondary pressure influence the surface defects of samples and the force of ejection. Run parameters had to be found before it was possible to manufacture samples. Surface defects were examined visually and the force of ejection was measured by a sensor, which was installed in the mold.

The results of the study show that the smaller the clearing angle and the more surface roughness there is, the more surface defects there will be. Also, the results show that when you use more secondary pressure then the force of ejection is higher. The results are not completely reliable, because there should have been more than a couple of samples and there were also some problems with the mold, which influence the force of ejection.

Key words: clearing angle, surface quality, surface roughness, force of ejection

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	TUTKIMUKSESSA KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT	2
2.1	Polyeteeni eli PE	2
2.1.1	Jaottelu ja käyttökohteet	2
2.1.2	Ominaisuudet	3
2.2	Polypropeeni eli PP	4
2.2.1	Käyttökohteet	4
2.2.2	Ominaisuudet ja prosessointi	4
2.3	Polystyreeni eli PS	6
2.3.1	Jaottelu ja ominaisuudet	6
2.3.2	Prosessointi ja käyttökohteet	7
3	RUISKUVALU	9
3.1	Ruiskuvalukoneisto ja sen osat	9
3.2	Ruiskuvaluprosessi	10
3.3	Ruiskuvalumuotti	10
3.3.1	Muottipesä	10
3.3.2	Päästö ja ulostyöntö	11
3.3.3	Jakotaso	11
3.3.4	Muottikutistuma	12
4	PINNANKARHEUS	13
4.1	Pinnanlaadun yleisimmät mittarit	13
4.2	Pinnankarheus	14
4.3	Kipinätyöstö	15
4.4	S.P.I. – pintanormaali	15
5	KOEAJOT	17
5.1	Laitteisto ja muotti	17
5.2	Koekappaleiden ruiskuvalu	20
6	TULOKSET	22
6.1	Pintavirheet	22
6.2	Ulostyöntövoimat	25
6.2.1	Jälkipaineen vaikutus ulostyöntövoimaan	26
6.2.2	Päästökulman vaikutus ulostyöntövoimaan	27

6.3	Tulosten analysointi	40
7	YHTEENVETO	41
	LÄHTEET	43

# 1 JOHDANTO

Yksi käytetyimmistä muovituotteiden valmistusmenetelmistä on ruiskuvalutekniikka, jolla tehdään suuria sarjoja erilaisia tuotteita. Tuotteilta vaaditaan monia eri ominaisuuksia, esimerkiksi hyvää pinnanlaatua. Visuaalisesti tarkasteltaessa ruiskuvalukappaleista voidaan huomata erilaisia pintavikoja: imuja, naarmuja tai vaikkapa ulostyöntötappien jälkiä.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia, miten eri muovit, päästökulma, pinnan karheus sekä jälkipaine vaikuttavat pinnanlaatuun ja ulostyöntövoimiin. Lahden ammattikorkeakoulu toimitti opinnäytetyötä varten muotin sekä insertin, johon oli työstetty eri karheuksella olevia pintoja ja päästökulmia. Pinnankarheudet oli työstetty alumiiniraepuhaltamalla, lasikuulapuhaltamalla, kivihiomalla, hiomapaperilla hiomalla sekä jyrsimällä. Vertailtavina päästökulmina käytettiin  $0^\circ$ ,  $1,2^\circ$ ,  $1,9^\circ$  ja  $4,9^\circ$ . Jälkipainetta nostamalla haluttiin saada enemmän eroja ja tutkimustulosta ulostyöntövoimiin.

Jälkipainetta mitattiin anturilla, joka oli kiinnitetty muotissa olevaan ulostyöntötappiin. Anturi lähetti mitatun tuloksen datankeruuyksikköön, jonka avulla saatiin tulokset siirrettyä Exceliin analysointia varten.

Tuloksista luettiin suurin syntynyt ulostyöntövoima ja kappaleisiin syntyvät naarmut ulostyönnössä. Naarmuja ja ulostyöntövoimia verrattiin eri muovien, päästökulmien ja pinnankarheuksien välillä sekä yritettiin löytää tietyille muoveille eri pinnankarheuksilla oleva vähimmäispäästökulma, jolla ei syntyisi pintanaarmuja.

## 2 TUTKIMUKSESSA KÄYTETTÄVÄT MATERIAALIT

Polypropeeni ja Polyeteeni kuuluvat polyolefiiniryhmään ja ovat käytetyimpiä muoveja maailmassa. On olemassa monia muitakin olefiinipolymeerejä ja niiden kopolymeerejä kuin pelkkä Polypropeeni ja Polyeteeni. Polyolefiinit kuuluvat valtamuovien ryhmään, joiden kasvu on 5 - 10 %:n vuosivauhtia. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 92.)

### 2.1 Polyeteeni eli PE

Polyeteeni on eniten käytetty muovi, ja se kehitettiin jo 1930-luvulla. Polyeteenin käyttösovellukset ovat erittäin laajat, ja sen molekyyliketju on yksinkertainen hiilivety, eli tämä ei reagoi toisiin aineisiin. Polyeteenellä tarvi esikäsitellä, jos niitä haluaa pinnoittaa, liimata tai tehdä painatuksia, koska polyeteenille on ominaista sen pinnan liukkaus ja hylkivyyys. Nämä ovat myös erittäin hyviä ominaisuuksia monissa sovelluksissa. (Järvinen 2008, 28.)

#### 2.1.1 Jaottelu ja käyttökohteet

Polyeteeni jaetaan pääsääntöisesti kahteen pääryhmään: PE-LD eli pientieheyspolyeteeni (low density) ja PE-HD eli suurtiheyspolyeteeni (high density). Tiheys erottaa ne toisistaan: PE-LD:n tiheys on 0,91 - 0,93 g/cm<sup>3</sup> ja PE-HD on siitä tiheämmät. On myös olemassa PE-MD eli keskitiheyspolyeteeni, jonka tiheys sijoittuu PE-LD:n ja PE-HD:n välille. Tätä käytetään yleensä vahvojen kalvojen valmistuksessa ja puhallusmuovauksessa. (Järvinen 2008, 28.)

PE-LD:n yleisimmät käyttökohteet ovat erilaiset pakkauskalvot: elintarvike-, teollisuus- ja kuluttajatuotepakkaukset. Sitä käytetään myös elektroniikkateollisuudessa sähköjohtojen ja -kaapeliin pinnoituksiin. PE-HD:n käyttökohteet ovat vähän laajemmalla kuin PE-LD:n. Ekstruusiopuolella PE-HD esiintyy etenkin vesi- ja kaasuputkissa. Puhallusmuovauksessa tehdään erilaisia pakkauspulloja elintarvikkeille tai suurempia kanistereita, esimerkiksi auton bensatankki. Rotaatiovalulla saadaan suurempia kontteja tai tankkeja. Kalvotekniikassa valmistetaan elin-

tarvikepusseja, joissa tarvitaan pienempää kaasunläpäisevyyttä. Ruiskuvalulla on valmistettu pullonkorkkeja, ämpäreitä, koreja, pulkkia ja leluja. (Järvinen 2008, 30 - 38)

### 2.1.2 Ominaisuudet

Polyeteenejä on monta eri ryhmää, mutta niillä paljon yhteisiä ominaisuuksia. Näitä pystytään seostamaan ja jälkikäsittämään, jolloin niiden ominaisuuksia voidaan vähän muuttaa.

TAULUKKO 1. Polyeteenin perusominaisuudet (Järvelä ym. 2000,17; Järvinen 2008, 29; Nykänen ym. 2012)

Hyvät ominaisuudet	Huonot ominaisuudet
kemiallinen kestävyys	ei kestä voimakkaita happoja
sähköneristävyys	korkea lämpölaajenemiskerroin
kuumasaumaus	alhainen lämpötilankesto
työstettävyys	väsymislujuus
muovattavuus	paloherkkä
keveys	muottikutistuma
iskulujuus	heikko repimislujuus
alhainen veden absorptio	herkkä jännityssäröilylle
hintaa	uv-kestävyys
elintarvikekelpoinen	

TAULUKKO 2. Polyeteenin ruiskuparametrejä (Koleva 2012)

Prosessointi lämpötila (°C)	190-274
Sylinterin lämpövyöhykkeet (°C)	210
Suutimen lämpötila (°C)	210
Muottilämpötila (°C)	33
Kuivauslämpötila (°C)	77



## 2.2 Polypropeeni eli PP

Polypropeeni on yksi eniten käytetyistä muoveista, koska sen saatavuus ja työstettävyys on todella hyvät sekä hinta on kilpailukykynsä ansiosta alhainen. Laajat käyttökohteet nostavat PP:n arvoa. PP keksittiin 1950-luvulla, mutta läpimurto tapahtui 1980-luvulla. PP on samankaltainen muovi kuin PE, mutta pakkaskestävyys on heikompi eikä ole yhtä liukaspintainen materiaali. PP:n molekyyliketjua opittiin modifioimaan ja seostamaan, jolloin saatiin parannettua kylmän kestoa ja iskulujuutta. Nämä parannukset nostivat PP:n arvoa muoviteollisuudessa ja se on ottanut polyeteeniltä markkinaosuutta itselleen parempien lämmönkestojen, mittatarkkuuden ja prosessoitavuuden ansiosta. (Järvelä ym. 2000, 18 – 19; Järvinen 2008, 40.)

### 2.2.1 Käyttökohteet

Polypropeenin käyttökohteet ovat laajimmat muovituotannossa. Pakkausteollisuudessa Polypropeenia käytetään erilaisiin kalvoihin (puhkaisu ja saumausominaisuuksien ansiosta), ruoka-, vaatteiden- ja tupakkapakkauksiin. Kovia pakkauksia tehdään laatikoille, rasioille ja korkeille, esimerkiksi tunnetuimpana ketsuppipullon korkki, koska korkilla tarvii olla erittäin hyvä saranaominaisuus. Autoteollisuudessa käytetään puskureissa, listoissa, erilaisissa sisäpinnoissa, kuten verhoilussa ja kojelaudoissa. Polypropeenista tehdään paljon kulutustuotteita, kuten taloustarvikkeita, leluja, matkalaukuja ja kotitalouteen liittyviä tarvikkeita. Teollisuudessa ja rakentamisessa Polypropeenia käytetään erilaisissa muoviputkissa, köysissä, remmeissä, levyissä ja kuljetuspakkauksissa. (Primo 2012.)

### 2.2.2 Ominaisuudet ja prosessointi

Polypropeeni on kiteinen muovi, joka jaetaan kolmeen pääryhmään: PP-homopolymeeri, PP-blokkipolymeeri ja PP-satunnaiskopolymeeri. PP-homopolymeeri ei kestä hyvin pakkasolosuhteita, mutta kestää enemmän lämpöä käytöltään kuin PE. PP-homopolymeerillä on mekaanisesti paremmat ominaisuudet kuin Polyeteenillä, jolloin käyttömahdollisuudet ovat paremmat. PP-

blokkipolymeeriin on saatu parannettua pakkaskestävyyttä sekä PP-blokkipolymeerillä pystytään valmistamaan myös erittäin joustavia sekä pehmeitä vaihtoehtoja. PP-satunnaispolymeerin hyvänä ominaisuutena pidetään sen läpinäkyvyyttä, pakkaskestävyys heikkenee vähän blokkipolymeeriin verrattuna. (Järvelä ym. 2000, 18 – 19; Järvinen 2008, 41.)

TAULUKKO 3. Polypropeenin perusominaisuudet (Koleva 2012)

Hyvät ominaisuudet	Huonot ominaisuudet
Kemiallinen kestävyys	lämpöstabiilius kärsii kontaktissa kuparin kanssa
myrkytön puhtaana	heikko kylmän kesto, voidaan parantaa täyteaineilla ja kopolymeroimalla
vettä kevyempi (n. 0,9g/cm <sup>3</sup> )	liimaaminen ja pintakäsittely
pienehkö muottikutistuma	
steriloitavissa höyryllä	
alhainen kitka ja hyvä kulumiskestävyys	
helposti prosessoitava	
jännityssäröilyn kestävyys	
erittäin hyvä kalvosaranaominaisuus	

Hyvän prosessoitavuuden ansiosta polypropeeniä voidaan työstää kaikilla tunnetuilla kestopuovien valmistusmenetelmillä. Polypropeeni on myös komposiittimateriaalina hyvä. Lasikuitulujitettuille polypropeeneille on saatu parannettua mittapysyvyyttä, vääntyilynkestävyyttä, lujuutta ja jäykkyyttä. Prosessoinnissa lisäämällä kemiallista kytkentäainetta saadaan parannettua lasikuitulujitetun propeenin veto- ja taivutuslujuutta, ilman mekaanisten ominaisuuksien heikentymistä. PP:lle suositellaan suurempaa päästökulmaa kuin 0,7°; jos joudutaan käyttämään pienempää, on ulostyöstöpinta-alan oltava laaja. (Koleva 2012.)

TAULUKKO 4. Polypropeenin ruiskuparametrejä (Koleva 2012)

Prosessointi lämpötila (°C)	202-252
Sylinterin lämpövyöhykkeet (°C)	220
Suutimen lämpötila (°C)	220
Muottilämpötila (°C)	35-49
Kuivauslämpötila (°C)	82

### 2.3 Polystyreeni eli PS

Polystyreeni on tunnettu lasinkirkkaana muovina jo 1930-luvulta asti. Sitä on käytetty jo pitkään lasia korvaavana materiaalina hinnan ja helpon työstettävyyden ansiosta. Läpinäkyvyys antaa paljon käyttömahdollisuuksia, mutta rajoittavina tekijöinä ovat hauraus ja mekaaniset ominaisuudet. Polystyreeniä on onnistuttu kehittämään styreenin kopolymeereihin ja iskunkestäksi styreeniksi eli SB, Styreenibutadieeni (PS-HI). PS-HI lyhenne tulee englannin kielestä, polystyreeni- high impact. (Järvinen 2000, 57.)

#### 2.3.1 Jaottelu ja ominaisuudet

Polystyreenit jaetaan useimmiten käyttötarkoituksen mukaan:

- normaalipolystyreeni (PS)
- solupolystyreeni (EPS)
- iskunkestävä polystyreeni (PS-HI).

Muita tunnettuja styreenimuoveja ovat akryylinitriilibutadieenistyyreeni (ABS), styreeniakryylinitriili (SAN) ja akryylistyyreeniakryylinitriili (ASA).

Polystyreeni on amorfinen ja lasimainen polymeeri, kun siihen ei ole lisätty täyteitä. Iskunkestävään polystyreeniin lisätään kumia tai butadieenikopolymeeriä, jolla parannetaan sitkeyttä ja iskulujuutta. Solupolystyreenia ei myydä perinteisenä granulaattina, vaan polystyreenihelmenä. Valmistusprosessissa lisätään sopivaa solustusainetta polystyreenihelmeä, jonka seurauksena saadaan hyvin lämpöeris-

tettyä solustettua polystyreeniä (EPS) eli tutummalta nimeltään styroksia. EPS on kaikkein kevyin muovi ( $0,015 - 0,025 \text{ cm}^3$ ), rakenteeltaan se koostuu umpisolujen sisällä olevasta ilmasta, jolla on todella hyvä lämmöneristävyys ja joka pakkauksissa toimii hyvänä iskunsuojana. (Järvinen 2008, 57 - 62; Koleva 2012.)

TAULUKKO 5. Polystyreenin tyypilliset ominaisuudet (Järvelä ym. 2000, 22)

Hyvät ominaisuudet	Heikot ominaisuudet
sähköiset ominaisuudet myös kosteissa tiloissa	UV-säteilyn kestävyys
värjättävyys	hauras
jäykkä	kemiallinen kestävyys
mittatarkkuus eli pieni kutistuma	jännityssäröily
pinnanlaatu	alhainen maksimi käyttölämpötila
läpinäkyvyys	helposti palava
solustettuna erinomainen lämmöneriste	
työstettävyys	

### 2.3.2 Prosessointi ja käyttökohteet

Polystyreenillä on pieni muottikutistuma (0,4 - 0,7 %). Iskunkestävä polystyreeni ei vaadi kuin  $0,1^\circ$  päästökulman ruiskuvalussa. Hyvä mittatarkkuus ja alhaisten jännitysten syntyminen saadaan sopivan hitaalla jäähdytyksellä. Polystyreenillä on hyvät virtausominaisuudet hajoamispistettä alhaisemmissa lämpötiloissa, mikä antaa hyvän työstettävyyden. (Koleva 2012.)

TAULUKKO 6. Polystyreenin ruiskuvalu lämpötiloja (Järvelä ym. 2000, 21 - 22)

	PS	PS-HI
Prosessointi lämpötila $^\circ\text{C}$	180-280	170-260
Muotinlämpötila $^\circ\text{C}$	10-40	10-70
Käyttölämpötila $^\circ\text{C}$	$\leq 90$	$\leq 80$

Polystyreeni on tunnetuin ja käytetyin muovi levyekstruusiassa, jolla tehdään erilaisia levyaihioita lämpömuovausta varten. Lämpömuovauksella tehdään erilaisia pakkaustuotteita: kertakäyttöastioita (mm. muovituoppeja, aterivälineitä), jogurtti- ja muita maitotuotepurkkeja sekä monia ruokapakkausia. Iskunkestävä PS:n yleiset käyttökohteet ovat CD-levyn kotelot, elektronisten laitteiden kotelot ja kuoret, sekä päivittäiset tavarat kuten henkarit, laatikoita ja kyniä. Solustettua polystyreeniä (EPS) käytetään paljon kodinkoneiden ja elektroniikan pakkaamiseen. Toinen tyypillinen käyttökohde on rakennusten eristelevyt katoissa, seinissä, lattioissa ja routaeristeissä. (Järvinen 2008, 57 - 63)

### 3 RUISKUVALU

Historian ensimmäinen sulatyöstömenetelmä on ruiskuvalu, joka suunniteltiin 1800-luvulla. Ensimmäinen ruiskuvalukone, joka toimi mäntäkoneella, on patentoitu vuonna 1872. Nykyisin toimivat ruuvikäyttöiset ruiskuvalukoneet saivat toimintaperiaatteensa 1950-luvun vaihteessa. 1950-luvulta asti aina tähän päivään saakka on ruiskuvalussa kehitetty monia eri tekniikoita, kuten monesta eri materiaalista valmistettuja kappaleita, painatusta, aikaisemmin tehdyn kappaleen integroimista yhteen ja hyvin automatisointia, jotta saadaan jälkikäsittely samalla suoritettua. Erittäin tärkeitä ruiskuvalussa on muotin valmistus ja suunnittelu, koska muottiin tehtyjä virheitä ei voi enää korjata ruiskuvaluprosessissa. Ruiskuvaluprosessilla ja sen hallinnalla pystytään vaikuttamaan tuotteen tärkeimpiin laatuvaatimuksiin: pinnan laatuun, muotoon ja muovin sisäisiin jännityksiin sekä kemialliseen kestävyYTEEN. (Järvinen 2008, 180.)

#### 3.1 Ruiskuvalukoneisto ja sen osat

Ruiskuvalukoneen pääyksiköt ovat seuraavat:

- sulkuyksikkö
- ruiskutusyksikkö
- ohjausyksikkö
- hydrauliyksikkö

Sulkuyksikön tehtävänä on muottipalasten liikuttaminen ja kappaleen ulostyöntö muottipesästä. Tavallisimmat ruiskuvalukoneet ovat hydraulinensuora-, polvinivelsulkujärjestelmä tai mekaaninen järjestelmä.

Ruiskutusyksikön tehtäviä ovat pellettien vastaanottaminen, plastisointi ja ruiskuttaminen.

Ohjausyksiköllä säädetään ja valvotaan ruiskuvalussa tapahtuvaa koko prosessia. Hydrauliyksikön päätehtävä on tuottaa ruuvien liikkeet. (Kurri ym. 2002, 74 - 77)

### 3.2 Ruiskuvaluprosessi

Ruiskuvaluprosessin tehtävänä on sulkea muotin puolikkaat ja muodostaa riittävän sulkupaineen. Plastisoida pelletit sulaksi muovimassaksi ruiskutusta varten. Ruiskuttaa annosteltu sulamuovimassa muottiin, noin 90 – 95 % muotin tilavuudesta. Ruiskuttaa jälkipaineen avulla sulaa muovimassaa muottiin kutistuman verran. Jäädyyttää kappale muotissa muotoonsa ja ehkäistä kappaleen vääristymiä sekä jännityksiä. Avata muotinpuolikkaat ja työntää kappale pois ulos muotista. (Järvinen 2008, 181 - 182.)

### 3.3 Ruiskuvalumuotti

Ruiskuvalumuotit voivat olla yksi- tai monipesäisiä muotteja, riippuen tuotteen koosta. Muoteista tehdään yksilöllisiä, koska niitä käytetään vain tietyn kappaleen valmistukseen. Muotin perustehtäviä ovat muovisulan vastaanottaminen ja sen jäähdyttäminen haluttuun muotoon sekä kappaleen ulostyöntö. Edellytyksiä muotin toiminnalle on, että se kestää todella suurta massan painetta ja sulkuvoiman aiheuttamaa rasitusta sekä se on helposti avattavissa ja suljettaessa muottipalaset ovat tarkasti toisiaan vasten. (Järvelä ym. 2000, 113.)

#### 3.3.1 Muottipesä

Muottipesän on oltava kutistuman verran suurempi kuin haluttu tuote, koska muovit kutistuvat väkisinkin jäähtyessä. Suunnittelussa täytyy muistaa, että kappale ei ole ikinä muottia parempi, joten muottisuunnittelun lisäksi muotti tarvitsee riittävät ennakko- ja huollot. Lähes kaikkia kappaleeseen syntyviä visuaalisia ja sisäisiä vikoja pystytään säätämään ruiskuvaluprosessin eri vaiheissa. Mutta ilman kunnollista muotin suunnittelua tai huoltoa kappaleen pinnanlaatu huononee heti, syntyy vääristymiä, imuja, jännityksiä tai muotti ei täyty tasaisesti jokaista nurkkaa myöten. (Kurri ym. 2002, 93.)

### 3.3.2 Päästö ja ulostyöntö

Muovituotteen ulostyönnössä syntyy kitkaa muotin ja kappaleen pintojen välille, minkä takia muottiin tehdään päästöä ja helpotetaan kappaleen ulostyöntöä muotista. Päästökulma estää tuotteen- ja muotinpinnan liukumisen toisiaan vasten. Suuremmalla päästöllä syntyy vähemmän kitkaa (Tampereen teknillinen yliopisto 2012).

Ulostyönnöstä jää aina jälki kappaleeseen, joten se on otettava huomioon kappalletta ja muottia suunniteltaessa. Ulostyöntötappien tulee olla riittävän suuria ja tarpeeksi monta, jotta kappale tulee tasaisesti pois muotista. Ulostyönnön voi myös suorittaa ulostyöntörenkaalla, joka antaa suuremman työntöpinta-alan ja vähentää ulostyönnön rasitusta kappaleeseen. Liian hitaan ulostyönnön seurauksena syntyy enemmän kitkaa kappaleen ja muotin pinnan välillä. Tämän seurauksena voi tulla naarmuja ja pintavirheitä, jolloin olisi syytä tehdä suurempi päästö. Pientä päästöä vaativissa kappaleissa on muotin pinnan oltava mahdollisimman sileä, jotta kappaleen ja muotin pinnan välille syntyy mahdollisimman vähän kitkaa. Muoteissa voi myös harvakseltaan esiintyä negatiivista päästöä eli vastapäästöä, mutta silloin kappaleen materiaalin on oltava joustavaa ja venyvää. (Nykänen ym. 2012.)

### 3.3.3 Jakotaso

Jakotaso on pinta, joka jakaa muottipalaset kahteen osaan. Tämä on myös tärkeä kohta muotissa, koska siinä voi helposti syntyä purseita kappaleen pinnalle, jos muottipalasten kohdistamisessa on ongelmaa. Jakotasoon kohdistuu suuri paine, kun muottiin ruiskutetaan sulaa muovimassaa, jolloin halvalla tehdyt muotit eivät kestä painetta ja muottilaatat voivat liikahtaa. Muottilaattojen liikkueessa syntyy taas purseita, minkä takia kappaleita joudutaan jälkityöstämään, eli kannattaa suunnittelussa muistaa riittävä sulkuvoima. (Nykänen ym. 2012.)



### 3.3.4 Muottikutistuma

Muovit kutistuvat aina jäähdytettäessä ja jähmettyessä muotissa. Ruiskuvalussa muottikutistumista kutsutaan, kun kappale muotissa jähmettyessään kutistuu vieläkin. Tällä on merkittävät seuraukset kappaleen muotoihin ja tarkkoihin mittoihin. Osakiteiset muovit voivat kutistua vielä seuraavanakin päivänä, mitä kutsutaan jälkikutistumiseksi. Muottikutistumisen hallitseminen on todella vaikeaa, koska siihen vaikuttaa niin moni asia. Suurin syy muottikutistumaan on muotin lämpötilalla, muita vaikuttavia tekijöitä ovat

- jälkipainetaso
- jälkipaineaika
- massan lämpötila
- ruiskuvalukappaleen seinämävahvuus
- etäisyys ruiskutusportista
- muovilaji ja sen kiteisyysaste.

Muottikutistuma aiheuttaa myös sisäisiä jännityksiä kappaleeseen sekä muodon vääristymiä. (Järvelä ym. 2000, 141.)

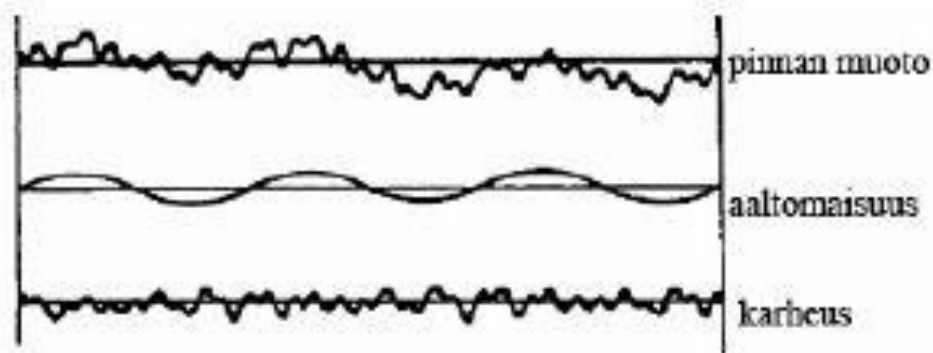
## 4 PINNANKARHEUS

Muotit valmistetaan yksilöllisesti ja niiden pinnat käsitellään tarkasti halutulla tavalla, jolloin erilaiset pinnanmuodostumat antavat muovituotteelle halutun pinnankarheuden. Muottien pintoja voidaan käsitellä monella eri tapaa: hiomalla, kiillottamalla, kipinätyöstämällä tai vaikkapa raepuhaltamalla haluttuun karheuteen.

### 4.1 Pinnanlaadun yleisimmät mittarit

Pinnanlaatua voidaan mitata pinnankarheuden, aaltomaisuuden, muodon ja kappaleen pinnan mittatarkkuuden suhteen. Pinnankarheuden mitat perustuvat pinnan huippujen ja laaksojen välisiin suhteisiin, etäisyyksiin tai niiden muotoon. (Tähtinen 2009, 14.)

Puhuessa voidaan sanoa, että pinta on tasainen ja sileä. Tarkemmin tarkasteltuna pinta on aina jonkin verran aaltoileva (keskipitkän taajuuden omaava muoto) eikä koskaan ole täydellisen tasainen, vaan aina jossain määrin epätasainen eli karhea (suuren taajuuden omaava muoto). Kuviossa 1 on esitetty suuren ja keski-suuren taajuuden sekä yleisen pinnan muodon yhteys. (Tähtinen 2009, 14.)



KUVIO 1. Pinnanmuodon, keskipitkän ja suuren aallonpituuden yhteys (Tähtinen 2009, 15.)

## 4.2 Pinnankarheus

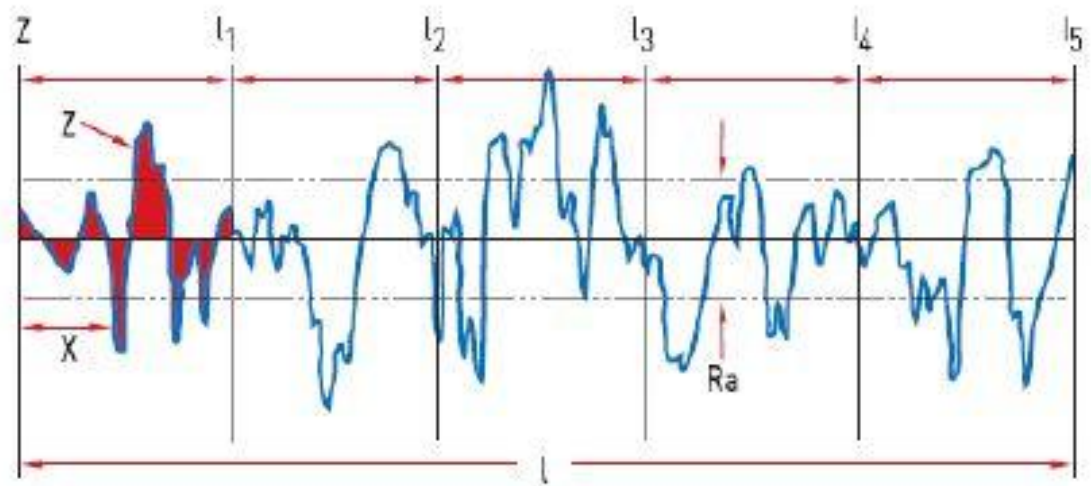
$R_a$  -arvo on yleisesti hyväksytty ja eniten käytetty kansainvälinen karheuden parametri. Se on aritmeettinen keskiarvo pinnan epätasaisuuksien poikkeamista keskilinjasta. Pinnankarheudenmittaukset perustuvat standardiin SFS-ISO 468. Kappaleiden pinnankarheuksia suunniteltaessa tulisi suosia standardin mukaisia pinnankarheuden arvoja. Taulukossa 7 on esitetty standardin SFS-ISO 468 suosittelemat pinnankarheuden  $R_a$ -arvot. Mitä pienempi  $R_a$ -arvo on, sitä sileämpi pinta on. (Tähtinen 2009, 16.)

TAULUKKO 7. Pinnankarheuden suositellut arvot SFS-ISO 468 mukaisesti (Tähtinen 2009, 17)

$R_a$ – arvo [ $\mu\text{m}$ ]
0,012
0,025
0,050
0,100
0,20
0,40
0,80
1,60
3,2
6,3
12,5
25
50
100
200
400

Käytännössä teoreettinen pinnankarheuden arvo ja saavutettu pinnankarheus ovat eri asia.  $R_t$  -arvo on todellinen pinnankarheuden muoto toteutuneista huippujen ja laaksojen arvoista.

$R_a$  -arvo voidaan laskea seuraavalla kaavalla:  $1/l \int_0^l |z(x)| dx$ , jossa  $l$  ovat mittausjakson pituudet [mm] ja  $z(x)$  on pinnan muodon funktio  $z$   $x$  suhteen (eli profiilin ja keskiviivan välinen pinta-ala). Kuviossa 2 on esitetty pistekatkoviivalla  $R_a$  -arvon ylä- ja alaraja sekä värjätty yhden mittausjakson osalta funktio  $z$ . (Tähtinen 2009, 17 – 18.)



KUVIO 2. Pinnanlaadun  $R_a$  -arvon muodostuminen (Tähtinen 2009, 19)

#### 4.3 Kipinätyöstö

Kipinätyöstöä käytetään paljon ruiskuvalukoneiden muottien valmistuksessa määrittämään tietty pinta muotille. Kipinätyöstössä yleensä grafiitti- ja kuparielektrodilla poistetaan materiaalia sähkön avulla öljyyn upotetusta metallikappaleesta. Hyviä etuja kipinätyöstössä ovat vaikeiden muotojen aikaan saaminen sekä kovat että karkaistut materiaalit ovat myös mahdollista työstää. (Ka-M Ltd. 2009.)

#### 4.4 S.P.I. – pintanormaali

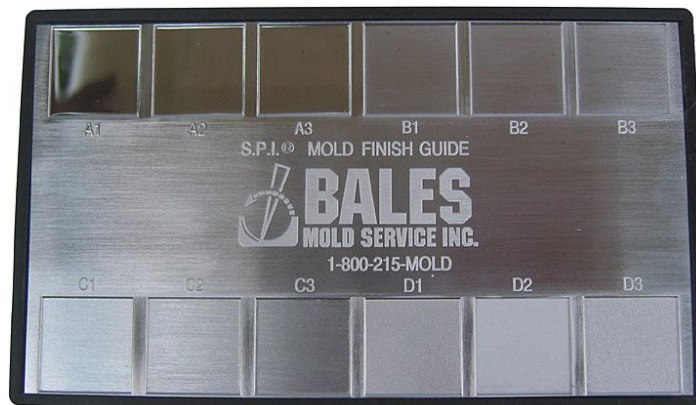
S.P.I. on lyhennetty sanoista Society of plastic industry. S.P.I. on käytännön lähestymistapa muotin viimeistelylle, jonka tarkoituksena on määrittää standardin mukainen pinta ruiskuvalutuotteelle, välttää pintavirheitä ja mitata pinnankarheutta ( $R_a$  -arvo). (Pro-A Innovation Limited 2012.)

Kuvioissa 3 ja 4 on esitetty S.P.I.<sup>®</sup> MOLD FINISH GUIDE, joka on

- luotettava ja tarkka työkalu päivittäiseen käyttöön
- suora muunnin S.P.I.<sup>®</sup> ja  $R_a$  välillä
- nopea työkalu vertailtaessa lähtöarvoa.

S.P.I.<sup>®</sup> MOLD FINISH GUIDE:ssä on neljä eri tapaa työstää pintaa, ja jokaisella tavalla on vielä kolme eri pintakarheus tai -kiillotusluokkaa.

- A-pinnat: kiiltäviä pintoja, timanttkiillotuksella
- B-pinnat: ei kiiltäviä pintoja, hiomapaperilla hiottu
- C-pinnat: karhennettu pinta, kivikarhennus
- D-pinnat: todella karheat pinnat, lasikuula- ja alumiinioksidipuhallettu karhennus. (Pro-A Innovation Limited 2012.)



KUVIO 3. S.P.I.<sup>®</sup> MOLD FINISH GUIDE (Pro-A Innovation Limited 2012)

S.P.I. <sup>®</sup> MOLD FINISH GUIDE					
S.P.I. FINISH	GUIDE	R.A. VALUE	S.P.I. FINISH	GUIDE	R.A. VALUE
A-1	#3 DIAMOND BUFF	0-1	B-1	#600 GRIT PAPER	2-3
A-2	#6 DIAMOND BUFF	1-2	B-2	#400 GRIT PAPER	4-5
A-3	#15 DIAMOND BUFF	2-3	B-3	#320 GRIT PAPER	9-10
C-1	#600 GRIT STONE	10-12	D-1	#11 GLASS BEAD	10-12
C-2	#400 GRIT STONE	25-28	D-2	#240 ALUM. OXIDE	26-32
C-3	#320 GRIT STONE	38-42	D-3	#24 ALUM. OXIDE	190-230
WWW.BALESMOLD.COM			MADE IN U.S.A.		

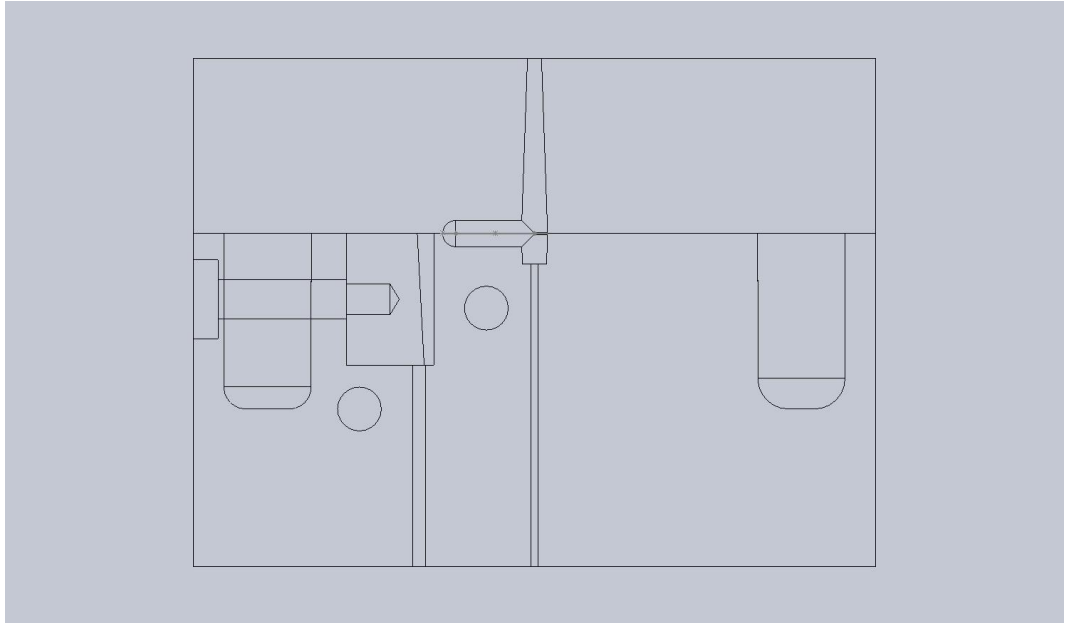
KUVIO 4. S.P.I.<sup>®</sup> MOLD FINISH GUIDE (Pro-A Innovation Limited 2012)

## 5 KOEAJOT

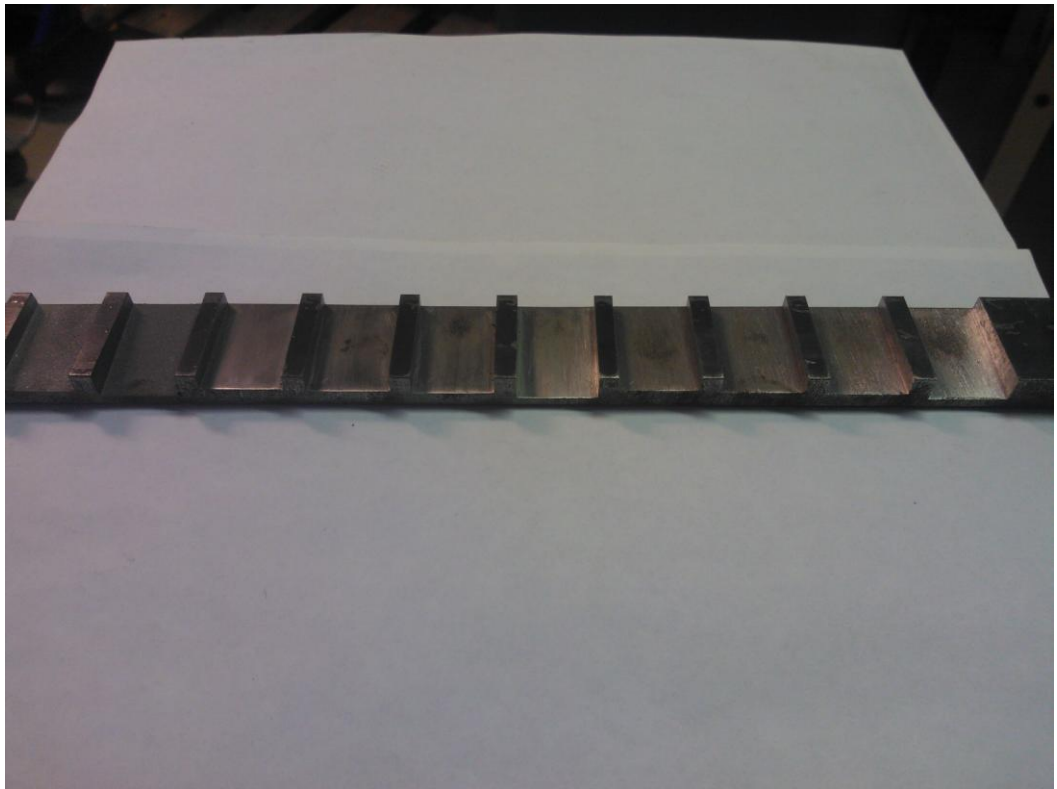
Koeajojen tarkoituksena oli selvittää päästökulman vaikutus pinnanlaatuun ja ulostyöntövoimiin. Koeajoissa käytettiin eri materiaaleja, päästökulmia, jälkipaineita sekä pinnankarheuksia, jotka vaikuttivat pinnanlaatuun ja ulostyöntövoimiin. Koeajot suoritettiin Lahden ammattikorkeakoulun muovitekniikan laboratoriossa.

### 5.1 Laitteisto ja muotti

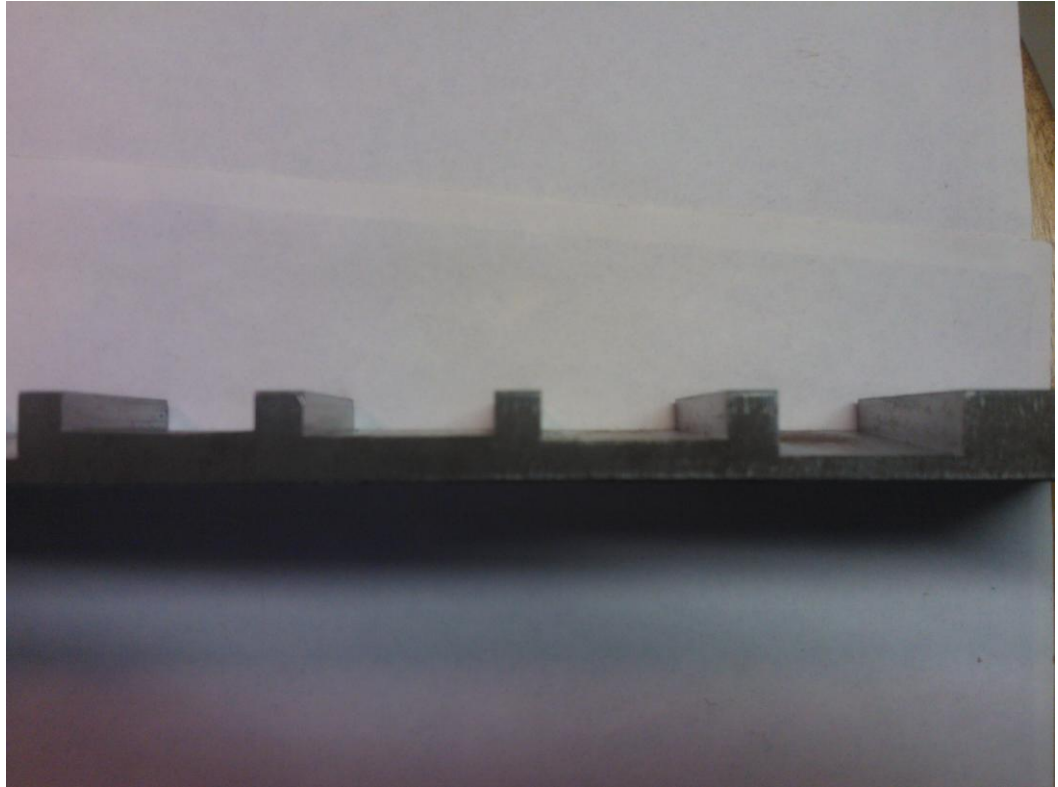
Lahden ammattikorkeakoulun muovitekniikan laboratoriossa on Battenfeld BA200 CD -merkkinen ruiskuvalukone, jolla tehtiin tarvittavat koeajot. Kuviossa 5 on Lahden ammattikorkeakoulun valmistaman muotin läpileikkaus sekä kuvioissa 6 ja 7 on toinen osa insertistä eri päästökulmineen ja pinnankarheuksineen. Koeajoissa käytettiin neljää eri päästökulmaa,  $0^\circ$ ,  $1,2^\circ$ ,  $1,9^\circ$  ja  $4,9^\circ$  sekä kuutta eri pinnankarheutta, kaksi eri pinnankarheutta hiomapaperilla hiottu, kivihioitu, jyr-sitty, lasikuulapuhallettu ja alumiiniraepuhallettu pinta. Taulukossa 8 on esitetty eri pinnankarheuksien  $R_a$ -arvoja, kun insertin pintoja on verrattu S.P.I.<sup>®</sup> MOLD FINISH GUIDE työkaluun. Lahden ammattikorkeakoulun ja Koulutuskeskus Salpauksen  $R_a$ -mittareiden näytöt olivat hajonnu, joten en päässyt mittaamaan todellista  $R_a$ -arvoa. Muotti ja insertti valmistettiin kyseistä opinnäytetyötä varten, jotta koeajot voitaisiin suorittaa suunnitellulla tavalla. Insertti kiinnitettiin muottiin puristamalla metallilevyä ruuvilla, koska kiinnityksen piti olla nopea insertin liikkuttamista varten. Muotin ulostyöntötappiin kiinnitettiin anturi, joka mittasi koeajoista mitattuja ulostyöntövoimia. Anturi liitettiin Kistler-nimiseen datankeruuyksikköön, jonka Dataflow ohjelmalla pystyttiin keräämään mitatut arvot tekstitiedostoon ja siirtämään Exceliin tulosten tarkastelua ja analysointia varten.



KUVIO 5. Muotin läpileikkaus



KUVIO 6. Koeajoissa käytetty insertti eri pinnankarheuksineen



KUVIO 7. Koeajoissa käytetty insertti, yhden pinnakarheuden neljä eri päästökulmaa

TAULUKKO 8. Insertille työstetyn pinnankarheusmenetelmää vastaava S.P.I. -luokka ja sitä vastaava  $R_a$ -arvo

Insertin työstetty pinnakarheusmenetelmä	$R_a$ -arvo	S.P.I. luokka
Hiomapaperilla hiottu pinta	2 - 3	B-1
Karheammalla hiomapaperilla hiottupinta	4 - 5	B-2
Kivihittupinta	38 - 42	C-3
Jyrsityypinta	1,6 (Pintaa on verrattu koneistetun työstöpinnan työkaluun)	Ei ole S.P.I. -luokkaa
Lasikuulapuhallettupinta	10 - 12	D-1
Alumiinioksidipuhallettupinta	190 - 230	D-3



## 5.2 Koekappaleiden ruiskuvalu

Koeajoissa käytettiin kolmea eri materiaalia:

- PP: Borealis BE170MO
- PS: DOW 678E
- PS-HI: Actohem Lacqrene 148.

Ongelmallista oli löytää yhteisiä sopivia ajoparametrejä, jotta saataisiin kaikki ajettua samoilla ajoarvoilla, koska yhteiset ajoparametrit antavat paremmin vertailukelpoisen tuloksen. Muottiin ei ollut tehty jäähdytystä, joten oli huomioitava mahdollinen lämpeneminen koeajojen aikana. Muotti ei kumminkaan lämmennyt pienen kappaleen vaikutuksesta juurikaan sekä insertin eri pesiin ruiskuttaminen (pinnakarheudet ja päästökulmat) helpottivat lämmön nousua. Ulostyöntäessä kappaleita huomattiin myös, että ulostyöntöä ei saatu tarpeeksi pitkälle, jotta kappale olisi aina pudonnut pois muotista. Taulukossa 9 on esitetty koeajoissa käytetyt ajoparametrit. Koeajoissa käytettiin myös kolmea eri jälkipainetta kullekin pinnankarheudelle ja päästökulmalle, joilla haluttiin katsoa, miten se vaikuttaa ulostyöntövoimiin. Muotin pinta, jota vasten ruiskuvaletun kappaleen tasainen puoli oli, kiilloitettiin huolellisesti, ettei siitä aiheutuisi ulostyönnössä suuria virheitä. Kuviossa 8 on ruiskuvalettu koekappale, josta etsittiin mahdollisia pintavirheitä.

TAULUKKO 9. Ruiskuvalun ajoparametrit

Parametri	Arvo
Jälkipaine	15, 25 ja 35 (bar)
Jälkipaineaika	5 (s)
Jäähdytysaika	30 (s)
Ulostyönnön nopeus	1 (asteikolla 1-5, 1=hitain ja 5= nopein)
Asetusarvot	45°,190°,210°,230°,235°



KUVIO 8. Ruiskuvalettu koekappale (PP)

## 6 TULOKSET

Tässä luvussa käydään läpi koeajojen tuloksia. Tulokset on jaettu kahteen eri osaan: ulostyönnössä syntyneet pintavirheet ja ulostyönnössä syntyvät voimat.

### 6.1 Pintavirheet

Kappaletta ulostyöntäessä syntyy kitkaa kappaleen ja karhennetun pinnan välillä. Tämän seurauksena voi syntyä naarmuja tai muita mahdollisia jälkiä, jotka vaikuttavat pinnanlaatuun.

TAULUKKO 10. Polypropeenin pintavirheet

Polypropeeni							
Naarmujen määrä							
0 = ei yhtään, 1 = pientä naarmua, 2 = naarmuinen, 3 = ei pysty valmistamaan							
Päästökulma [°]	Jälkipaine [Bar]	Pinnankarheus					
		Lasikuula- puhallettu	Alumiinirae- puhallettu	Jyrsitty	Kivihiottu	Karhempi hiomapaperi hiottu	Hioma- paperi hiottu
4,9	15	0	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0	0	0
	35	0	0	0	0	0	0
1,9	15	0	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0	0	0
	35	0	1	0	0	0	0
1,2	15	0	1	0	0	0	0
	25	0	1	0	0	0	0
	35	1	1	0	0	0	0
0	15	1	2	0	0	0	0
	25	1	2	0	0	0	0
	35	1	2	0	0	0	0

Polypropeenin pintavirheistä voidaan huomata, että jyrsitty, kivihiottu ja hiomapaperilla hiotut pinnat ovat hyviä pinnankarheuksia myös pienillä päästökulmilla. Lasikuulapuhalletulla pinnalle päästökulman tulisi olla vähintään 1,2°. 35 bar:n jälkipaineella ja 1,2°:n päästökulmalla muottipesä täyttyy sen verran paljon, että siinä syntyy jo pientä naarmua. Alumiinirae puhalletulle pinnalle päästökulman

tulisi olla vähintään 1,9° ja ilman päästöä ei suositella edes ajettavaksi. Ilman päästöä ulostyönnössä syntyy niin paljon kitkaa pintojen välille, että pinta on naarmuinen.

TAULUKKO 11. Polystyreenin pintavirheet

<b>Polystyreeni</b>							
Naarmujen määrä 0 = ei yhtään, 1 = pientä naarmua, 2 = naarmuinen, 3 = ei pysty valmistamaan							
Päästö- kulma [°]	Jälkipaine [Bar]	Pinnankarheus					
		Lasikuula- puhallettu	Alumiinirae- puhallettu	Jyrsitty	Kivi- hiottu	Karhempi hiomapaperi hiottu	Hioma- paperi hiottu
4,9	15	0	1	0	0	0	0
	25	0	1	0	0	0	0
	35	0	1	0	0	0	0
1,9	15	0	1	0	0	0	0
	25	0	1	0	0	0	0
	35	0	1	0	0	0	0
1,2	15	0	1	0	0	0	0
	25	0	1	0	0	0	0
	35	1	1	0	0	0	0
0	15	2	3	0	1	0	0
	25	2	3	0	1	0	0
	35	2	3	0	1	0	0

Polystyreenin pintavirheistä voidaan huomata, että yrsitty ja hiomapaperilla hiottut pinnat ovat hyviä pinnankarheuksia myös pienillä päästökulmilla. Lasikuulapuhalletulla pinnalle päästökulman tulisi olla vähintään 1,2°. 35 bar:n jälkipaineella ja 1,2°:n päästökulmalla muottipesä täyttyy sen verran paljon, että siinä syntyy jo pientä naarmua. Alumiinirae- puhalletulle pinnalle muodostui koeajojen jokaisella päästökulmalla vähintäänkin pientä naarmua ja ilman päästöä ei suositella ajettavaksi. Ilman päästöä ulostyönnössä syntyy niin paljon kitkaa pintojen välille, että ulostyöntötappi painui materiaalin sisälle. Huomattavaa oli, että kivihiotulle pinnalle alkoi syntyä naarmua ilman päästöä verrattuna Polypropeeniin.

TAULUKKO 12. Iskunkestävän Polystyreenin pintavirheet

Iskunkestävä Polystyreeni							
Naarmujen määrä 0 = ei yhtään, 1 = pientä naarmua, 2 = naarmuinen, 3 = ei pysty valmistamaan							
Päästökulma [°]	Jälkipaine [Bar]	Pinnankarheus					
		Lasikuulapuhallettu	Alumiiniraepuhallettu	Jyrsitty	Kivihiottu	Karhaempi hiomapaperi hiottu	Hiomapaperi hiottu
4,9	15	0	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0	0	0
	35	0	0	0	0	0	0
1,9	15	0	0	0	0	0	0
	25	0	0	0	0	0	0
	35	0	0	0	0	0	0
1,2	15	0	1	0	0	0	0
	25	0	1	0	0	0	0
	35	1	1	0	0	0	0
0	15	2	2	0	1	0	0
	25	2	2	0	1	0	0
	35	2	3	0	1	0	0

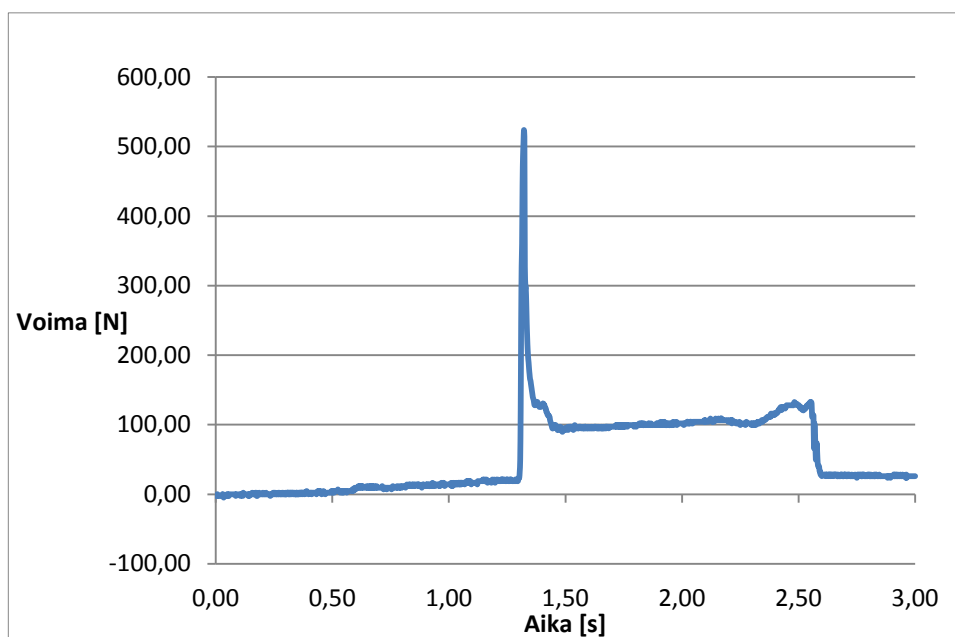
Iskunkestävien Polystyreenien pintavirheet eivät paljoa eroa Polypropeenista eikä polystyreenistä. Iskunkestävällä polystyreenillä ei syntynyt pintavirheitä isommilla päästökulmilla alumiiniraepuhalletulle pinnalle, toisin kuin Polystyreenillä niitä vielä syntyi. Kivihiotulle pinnalle olisi suotavaa tehdä pientä päästöä, jotta vältettäisiin pintavirheitä.

Vertailtaessa näitä kolmea materiaalia pintavirheiden osalta voidaan todeta, että styreenin pintaan muodostuu enemmän naarmuja kuin polypropeenin pintaan. Optimaaliset ajoarvot säätelevät paljon erilaisia pintavirheitä, ja mielestäni paremmilla ajoparametrien säädöillä pystyttäisiin ehkäisemään myös osa näistä pintavirheistä. Esimerkiksi iskunkestävälle Polystyreenille on päästökulmaksi riittänyt  $0,1^\circ$  teoriaosuudessa, mutta täytyy huomioida erittäin karhea pinta (alumiiniraepuhallettu) tässä koeajossa. Aivan suoraan  $R_a$ -arvoon ei pystynyt suhteuttamaan pintavirheiden syntymiä, koska kivihiotulle pinnalle on arvioitu suurempi  $R_a$ -arvo kuin lasikuulapuhalletulle pinnalle.

## 6.2 Ulostyöntövoimat

Ulostyönnössä kappale poistuu muotista ulostyöntötapin avulla. Koeajoissa ulostyöntötappiin oli kiinnitetty anturi mittaamaan ulostyönnön voimaa ajan funktiona. Kuviossa 9 on esitetty Polypropeenin koeajosta  $0^\circ$ :n päästökulmassa, alumiiniraepuhalletulle pinnalle ja 15 bar:n jälkipaineella mitatun kappaleen ulostyöntövoimat ajan funktiona. Ulostyöntövoima syntyy kappaleen ja muottipinnan välisestä kitkasta. Suurin voima kertoo, kuinka paljon voimaa tarvitaan ylittämään lepokitka eli milloin kappale lähtee liikkeelle. Liikekitka kertoo kappaleen vastustava voima liikkeessaan pintaa vasten.

Ajassa 1,3 sekuntia alkaa ulostyöntö ja se kestää aina 2,5 sekunnin kohdalle asti. Heti ulostyönnön alussa ilmenee lepokitka, jolloin syntyy suurin ulostyöntövoima. Kappaleen päästyä liikkeelle voima laskee liikekitkaan vaativaan voimaa, jonka jälkeen kappale tulee ulos muotista.

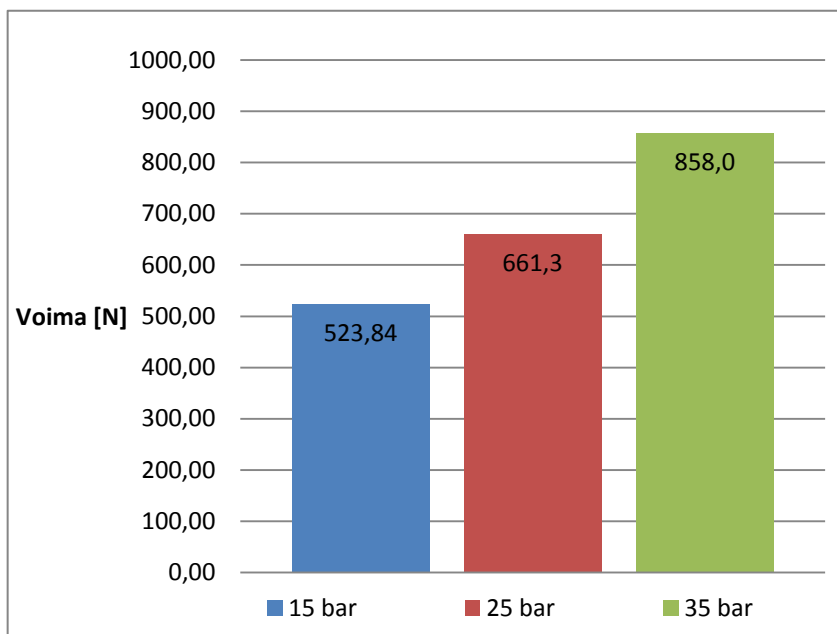


KUVIO 9. Ulostyöntövoiman kuvaaja on Polypropeenin koeajosta alumiiniraepuhalletulla pinnalla,  $0^\circ$ :n päästökulmassa ja 15 bar:n jälkipaineella

Kaikilla materiaaleilla, pinnakarheuksilla, päästökulmilla ja jälkipaineilla syntyy vastaavanlainen kuvaaja voiman ja ajan funktiona. Jokaisessa koeajossa syntyy suurin ulostyöntövoima ja niitä on verrattu keskenään.

### 6.2.1 Jälkipaineen vaikutus ulostyöntövoimaan

Kuviossa 10 on esitetty miten jälkipainetta nostamalla ulostyöntönnön voima muuttuu.



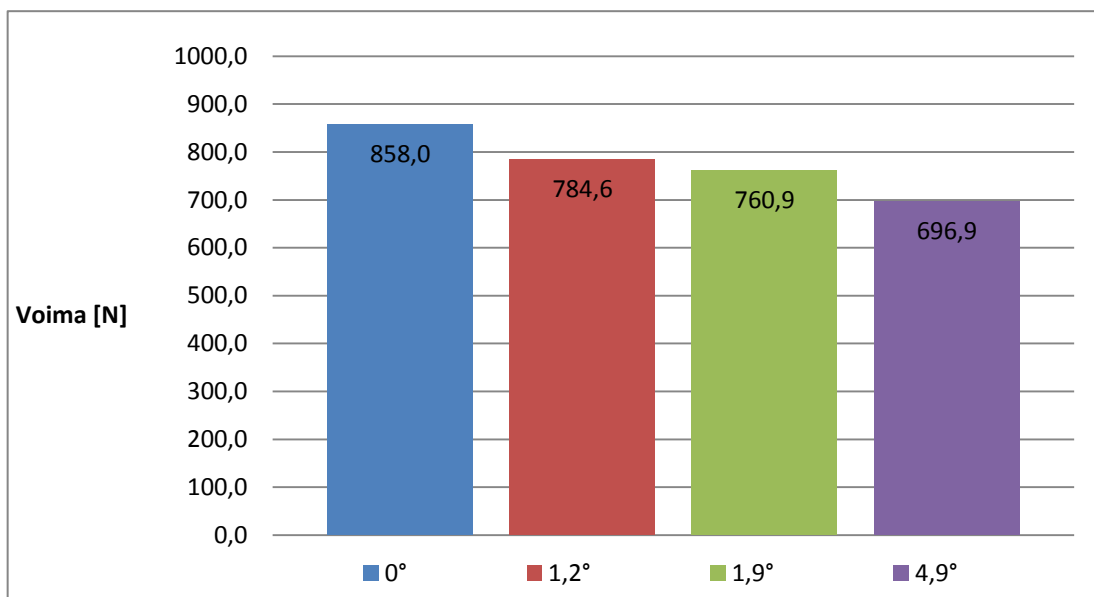
KUVIO 10. Polypropeeni on alumiiniraepuhalletulla pinnalla, 0°:n päästökulmassa jälkipainetta suurentamalla

Kuviosta 10 huomataan, että ulostyönnössä syntyy sitä enemmän voimaa, mitä enemmän jälkipainetta nostetaan. Kaikilla materiaaleilla, pinnankarheuksilla ja päästökulmilla syntyi vastaavanlainen yhteys ulostyöntövoimiin jälkipainetta nostamalla.

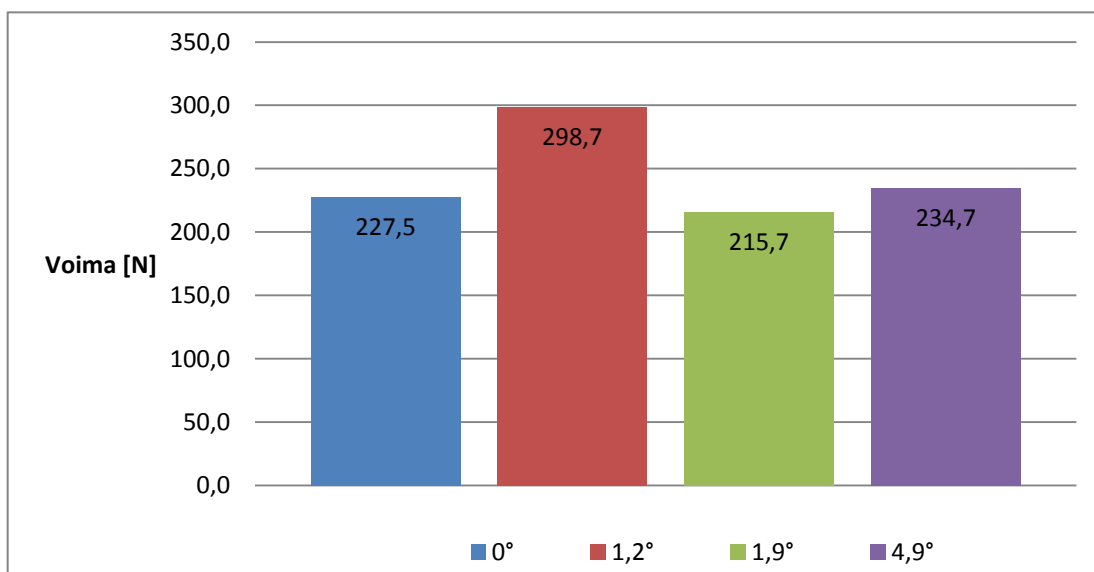
Jälkipainetta nostamalla syötetään lisää materiaalia muottiin, jolloin muotti on täydempi ja kappaleella on suurempi pinta-ala muotin pintoja vasten. Pinta-alan kasvaessa syntyy enemmän kitkaa ja tämän seurauksena ulostyönnössä syntyy suurempi voima.

### 6.2.2 Päästökulman vaikutus ulostyöntövoimaan

Seuraavissa kuvioissa 11 - 16 on esitetty Polypropeenin ja suurentuvan päästökulman vaikutusta ulostyöntövoimaan eri pinnankarheuksilla. Tarkoituksena oli löytää suurin mahdollinen voima, joten koeajoissa on käytetty 35 bar:n jälkipainetta.

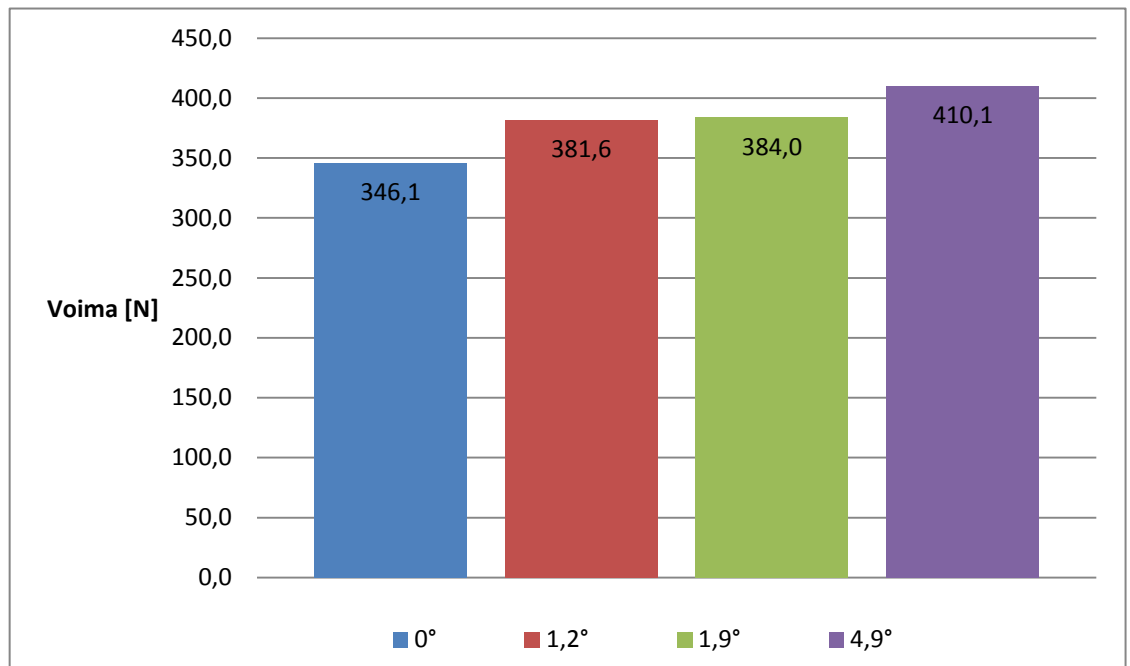


KUVIO 11. Polypropeeni, alumiiniraepuhallettu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuaminen



KUVIO 12. Polypropeeni, hiomapaperilla hiottu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen

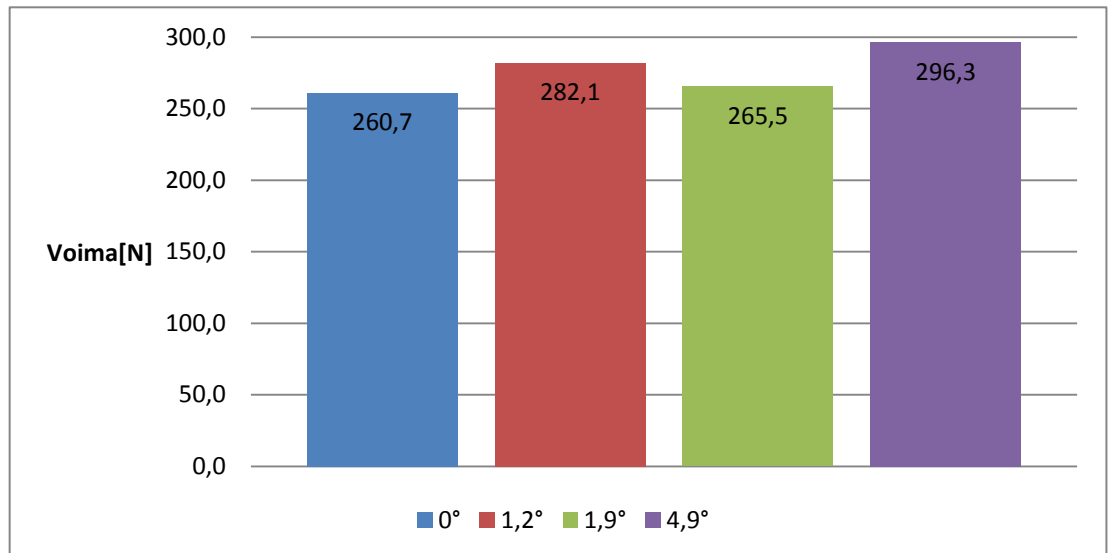




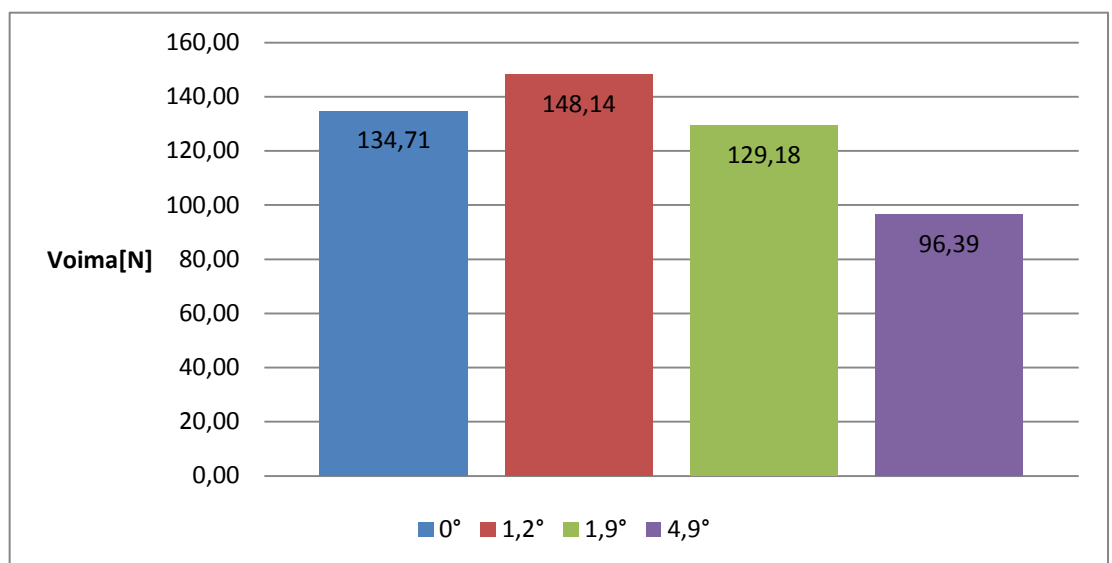
KUVIO 13. Polypropeeni, karheammalla hiomapaperilla hiottu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



KUVIO 14. Polypropeeni, jyrsitty pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



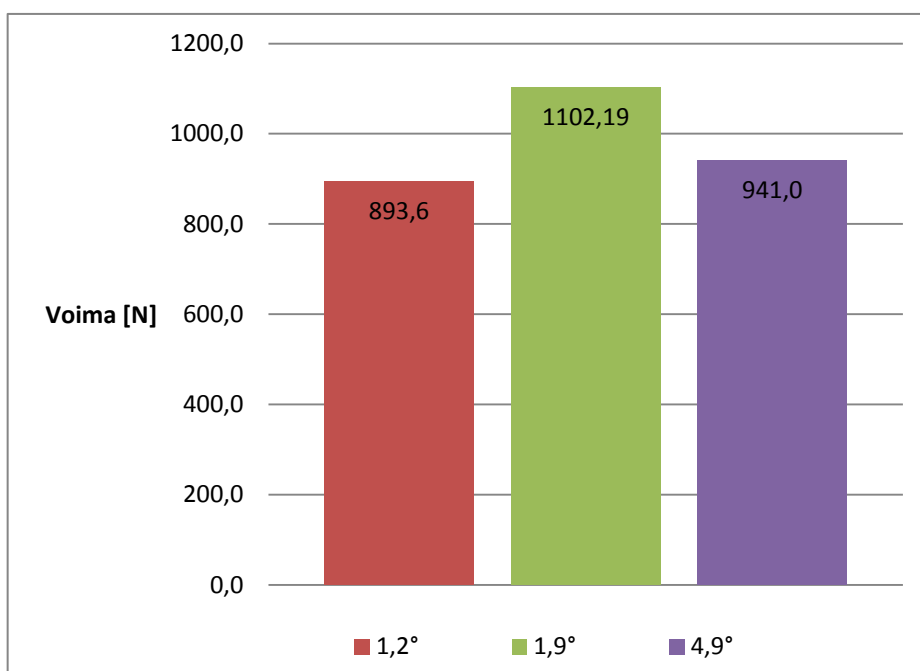
KUVIO 15. Polypropeeni, kivihiottu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



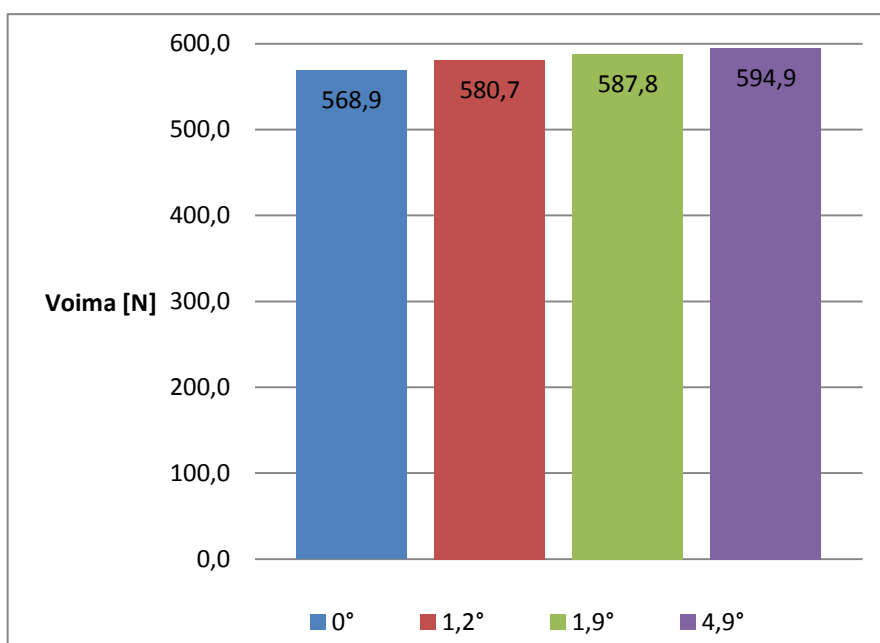
KUVIO 16. Polypropeeni, lasikuulapuhallettu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen

Kuvioista huomataan, että alumiiniraepuhalletulla pinnalla ulostyöntövoima pienenee koko ajan suurempaan päästöön siirryessä. Jyrsityn pinnan ja lasikuulapuhalletun pinnan ulostyöntövoimat pienenevät, kun päästökulma suurenee, mutta pieni hyppäys syntyy ylöspäin 1,2°:n tai 1,9°:n kulmassa. Hioituille pinnoille mitatuissa ulostyönnoissa ei samanlaista suuntaa ole; niissä on jopa korkeammat ulostyöntövoimat suuremmissa päästöissä tai vaihtelua jokaisella päästöllä.

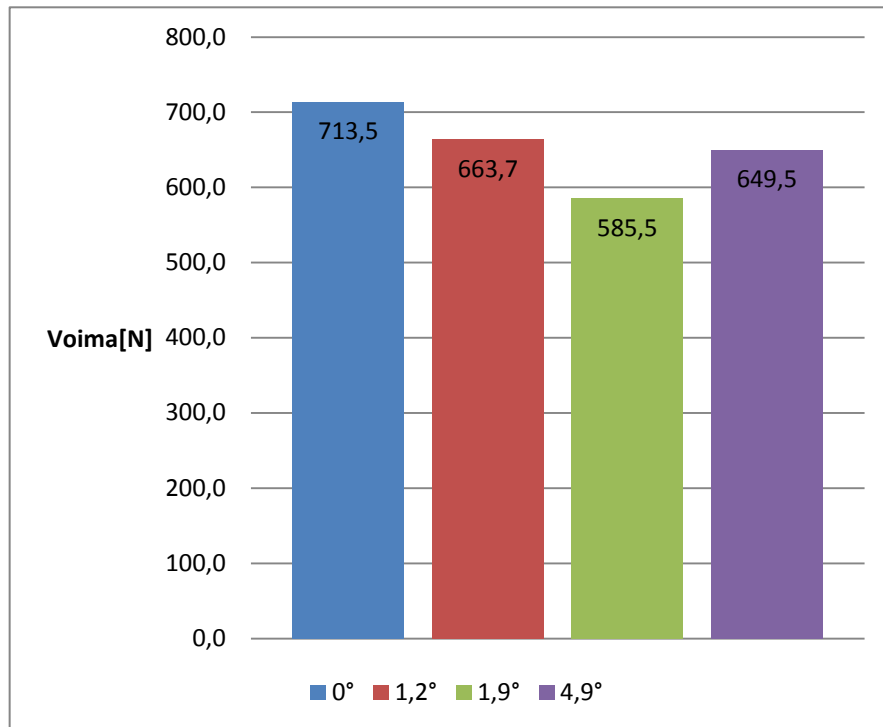
Seuraavissa kuvioissa 17 - 22 on esitetty Polystyreenille päästökulman vaikutusta ulostyöntövoimaan eri pinnankarheuksilla.



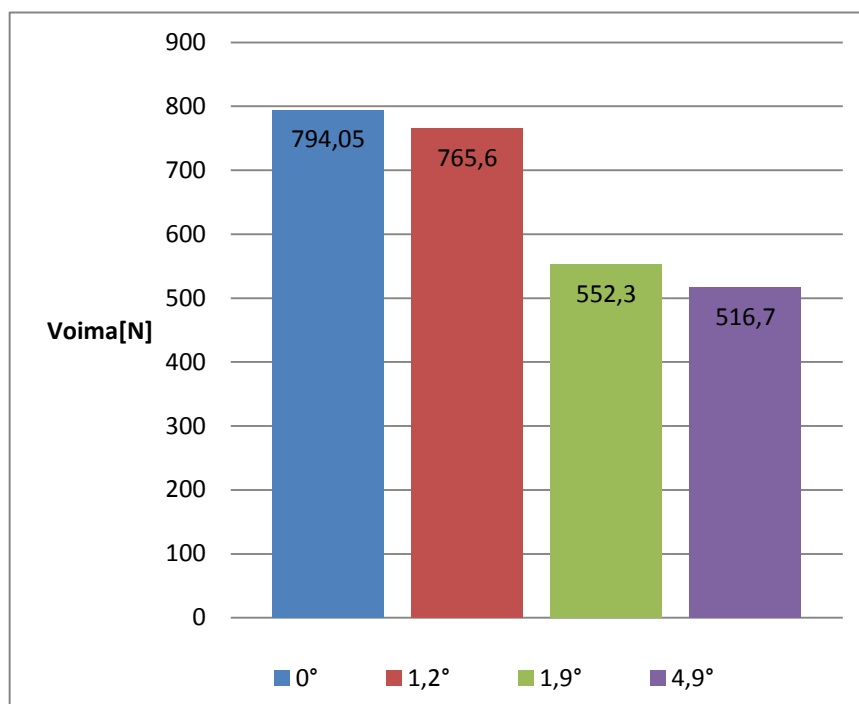
KUVIO 17. Polystyreeni, alumiiniraepuhallettu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



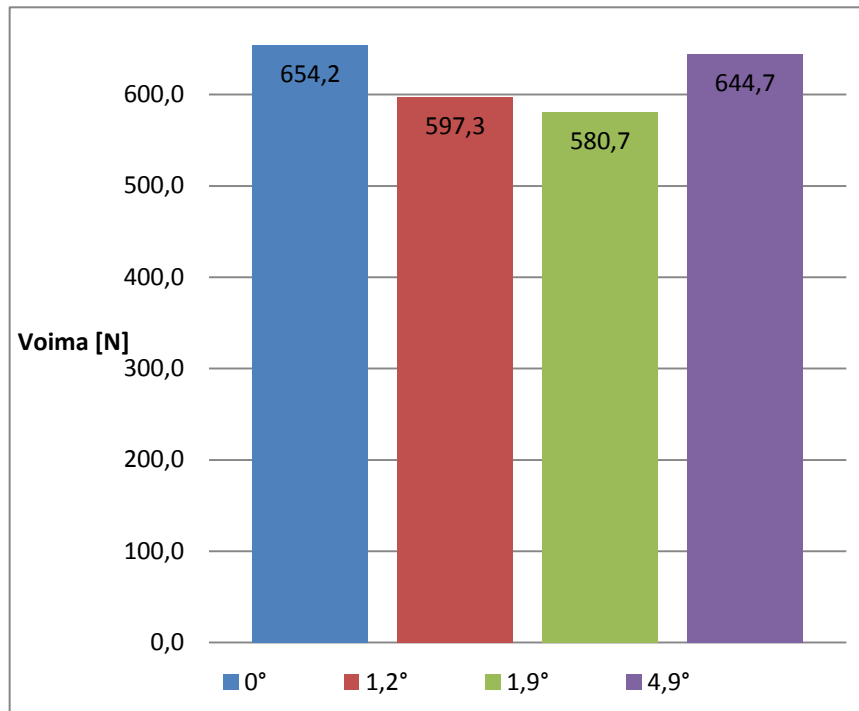
KUVIO 18. Polystyreeni, hiomapaperilla hiottu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



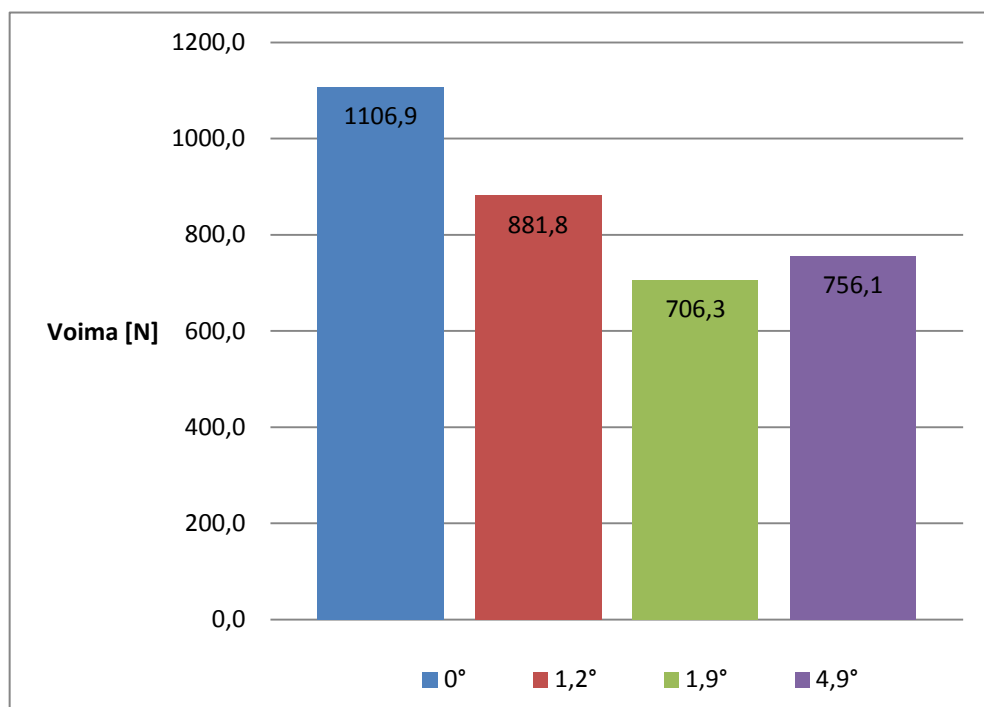
KUVIO 19. Polystyreeni, karheammalla hiomapaperilla hiottu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



KUVIO 20. Polystyreeni, jyrskitty pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



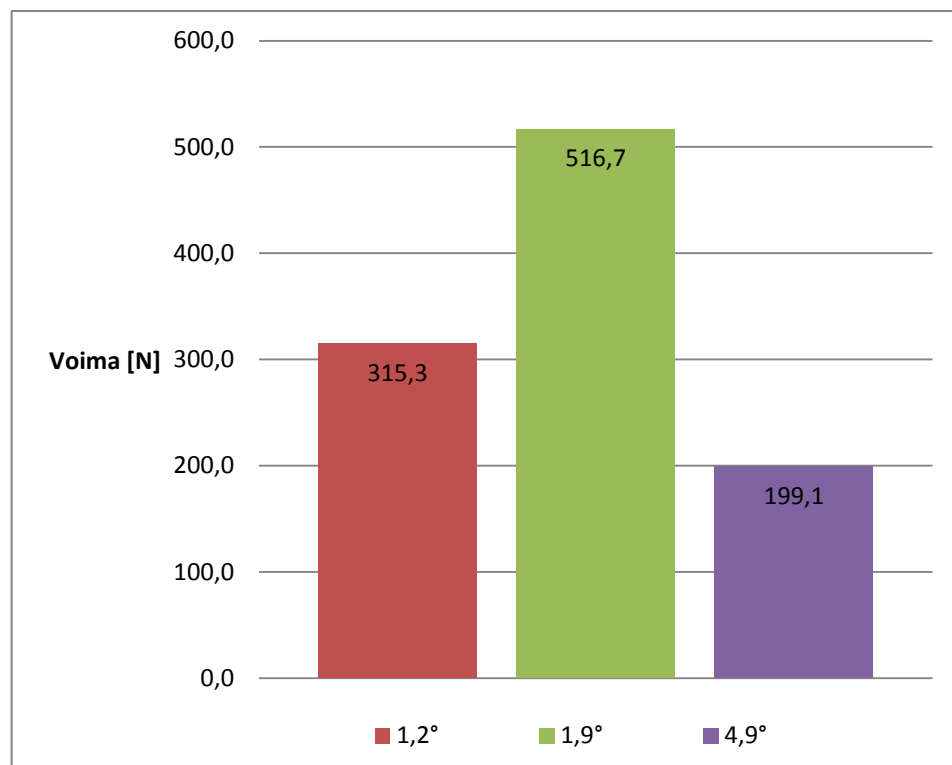
KUVIO 21. Polystyreeni, kivihiottu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



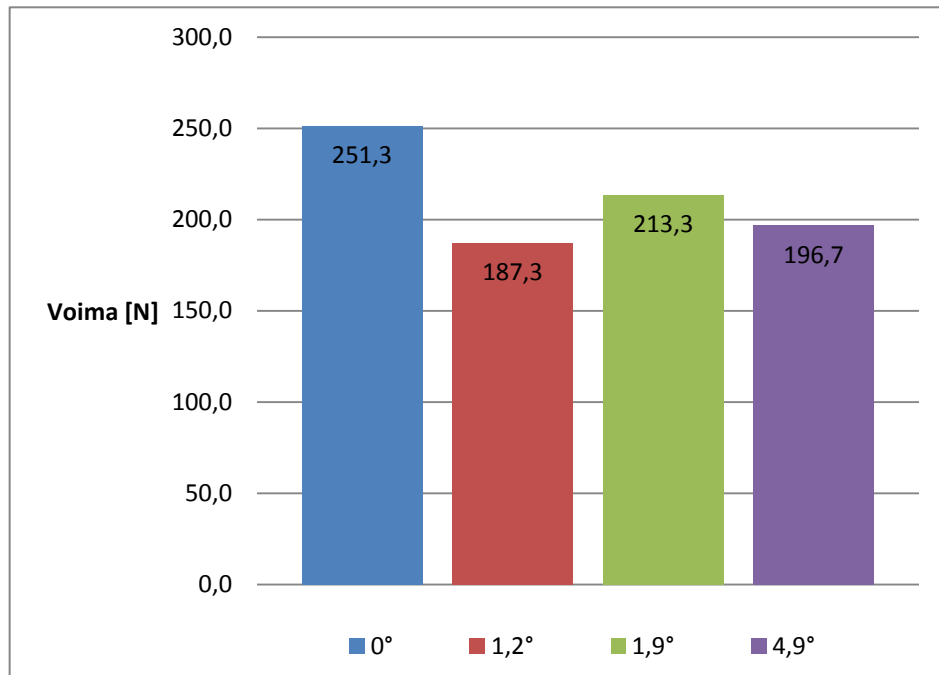
KUVIO 22. Polystyreeni, lasikuulapuhallettu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen

Polystyreenin koeajoissa huomataan myös vaihtelua eri päästökulmille, eivätkä ulostyöntövoimat suurene tai pienene loogisesti suurempaan päästökulmaan. Polystyreenin ulostyöntövoimat ovat huomattavasti suuremmat kuin Polypropeenilla.

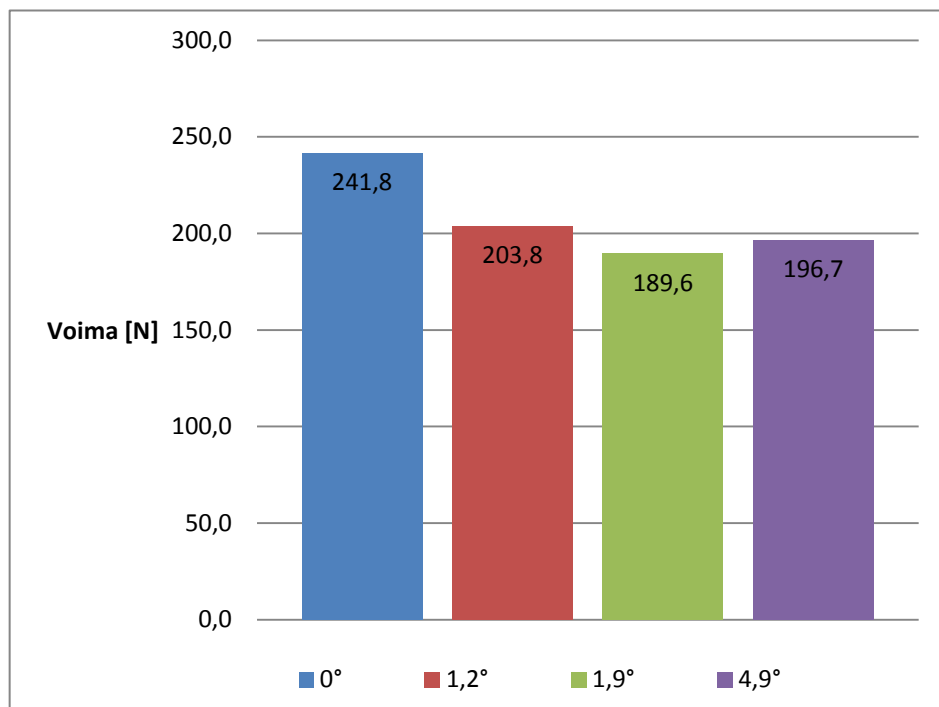
Seuraavissa kuvioissa on esitetty iskunkestävälle Polystyreenille päästökulman vaikutusta ulostyöntövoimaan eri pinnankarheuksilla.



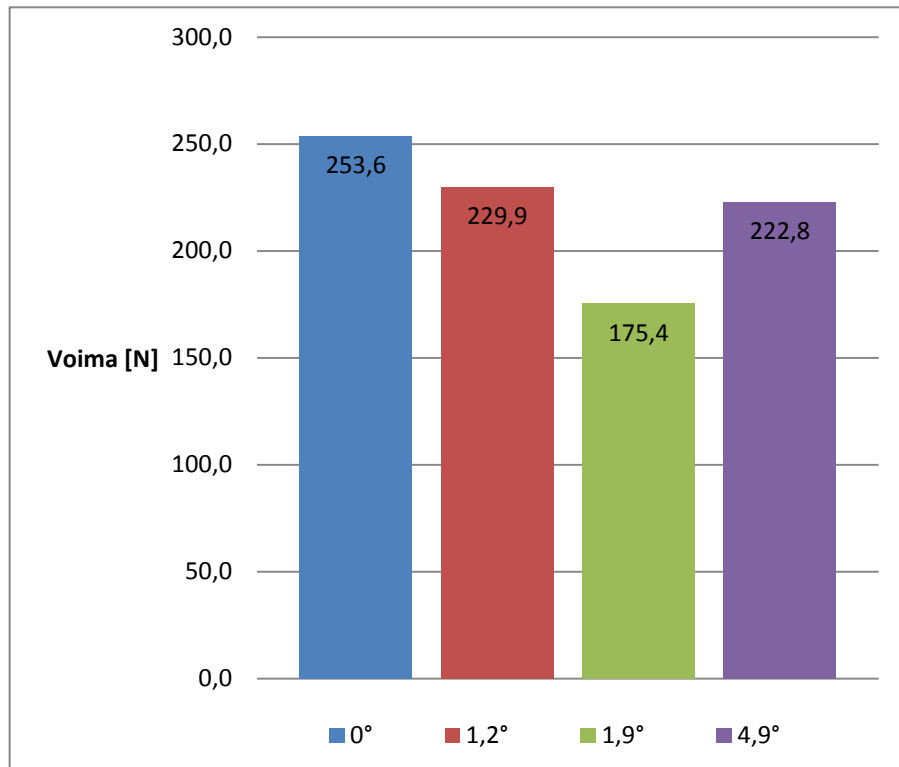
KUVIO 23. Iskunkestävä Polystyreeni, alumiiniraepuhallettu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



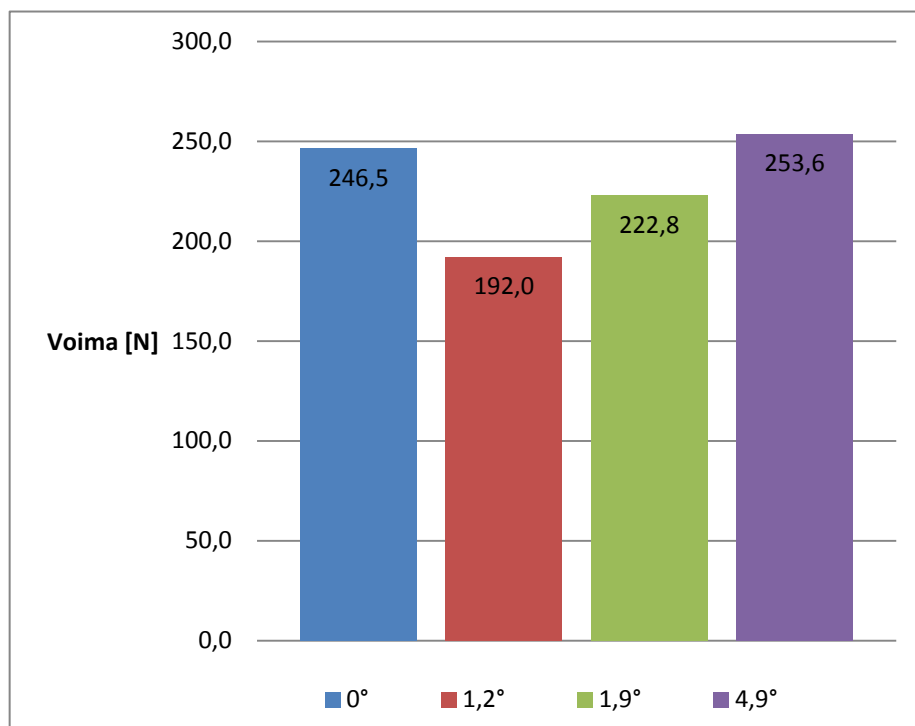
KUVIO 24. Iskunkestävä Polystyreeni, karheammalla hiomapaperilla hiottu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



KUVIO 25. Iskunkestävä Polystyreeni, hiomapaperilla hiottu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen

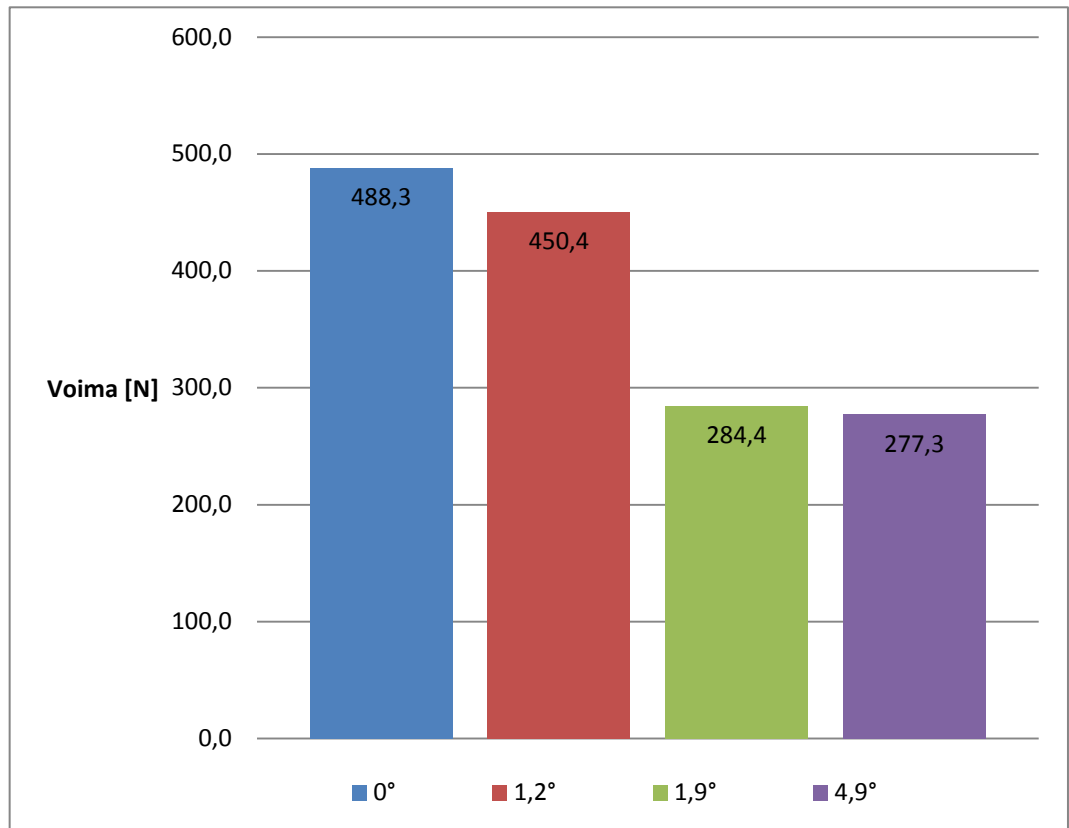


KUVIO 26. Iskunkestävä Polystyreeni, jyrsketty pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen



KUVIO 27. Iskunkestävä Polystyreeni, kivihiottu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen

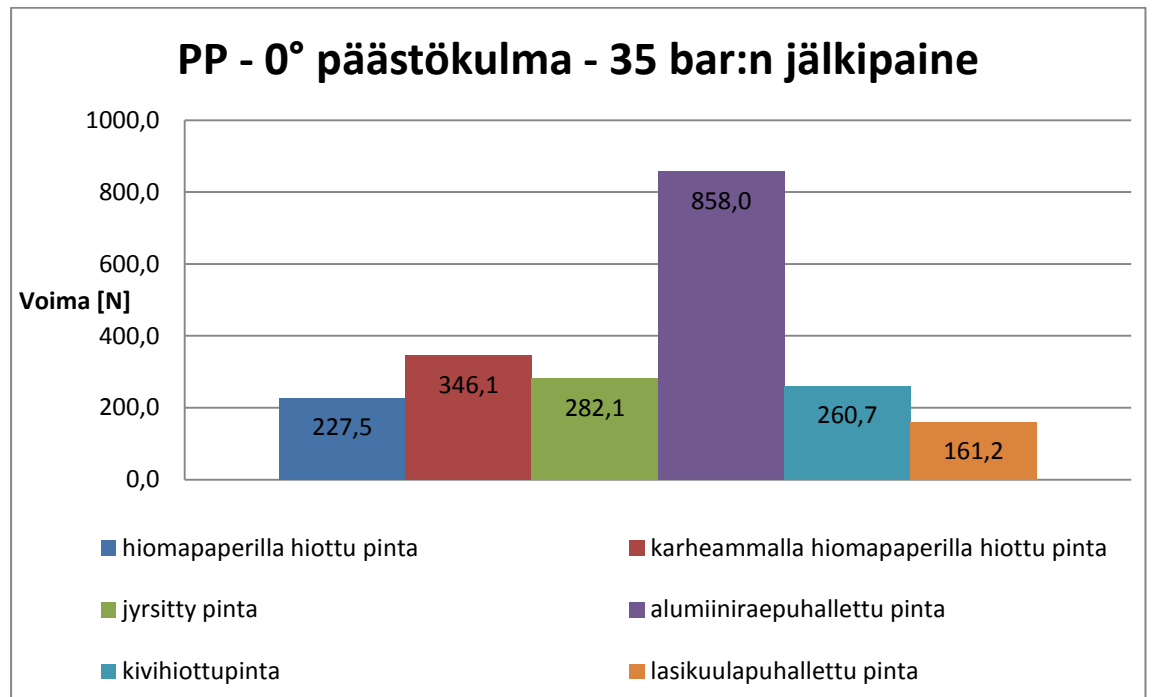




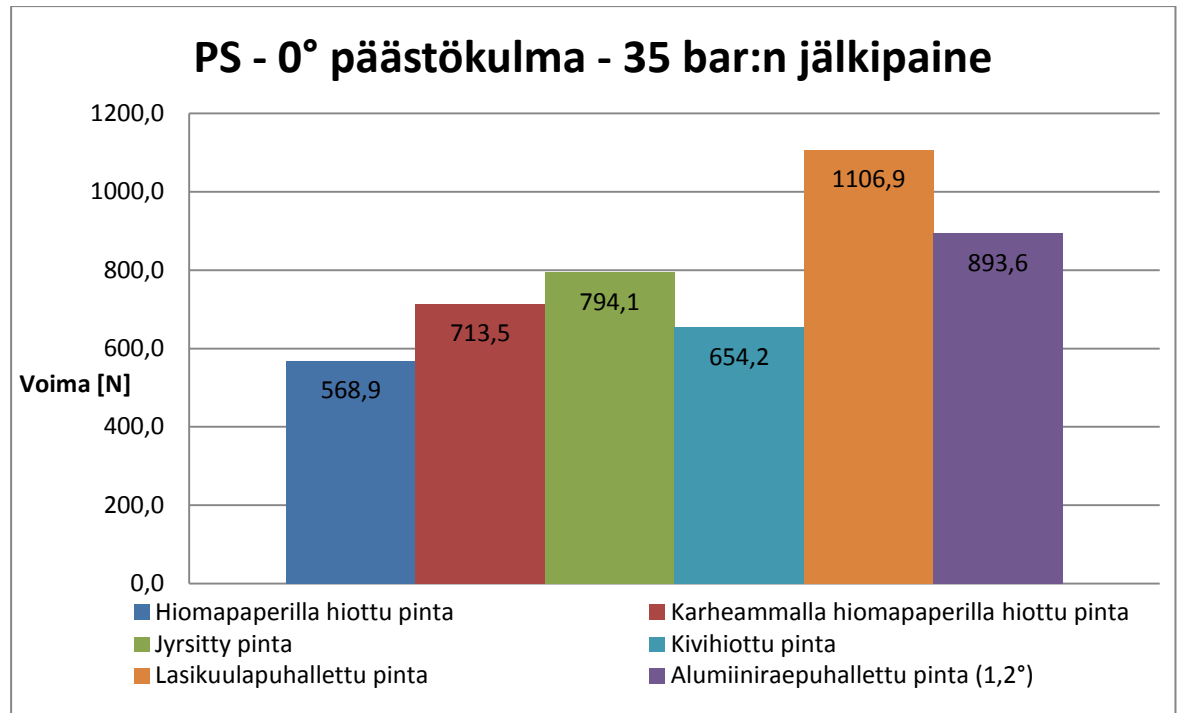
KUVIO 28. Iskunkestävä Polystyreeni, lasikuulapuhallettu pinta, 35 bar:n jälkipaine ja päästökulman suhteen muuttuminen

Iskunkestävän polystyreenin koeajoissa huomataan pientä ulostyöntövoiman pienenemistä, kun päästö suurenee. Mutta myös skunkestävällä Polystyreenillä on joitain vaihteluita eri päästökulmien välillä.

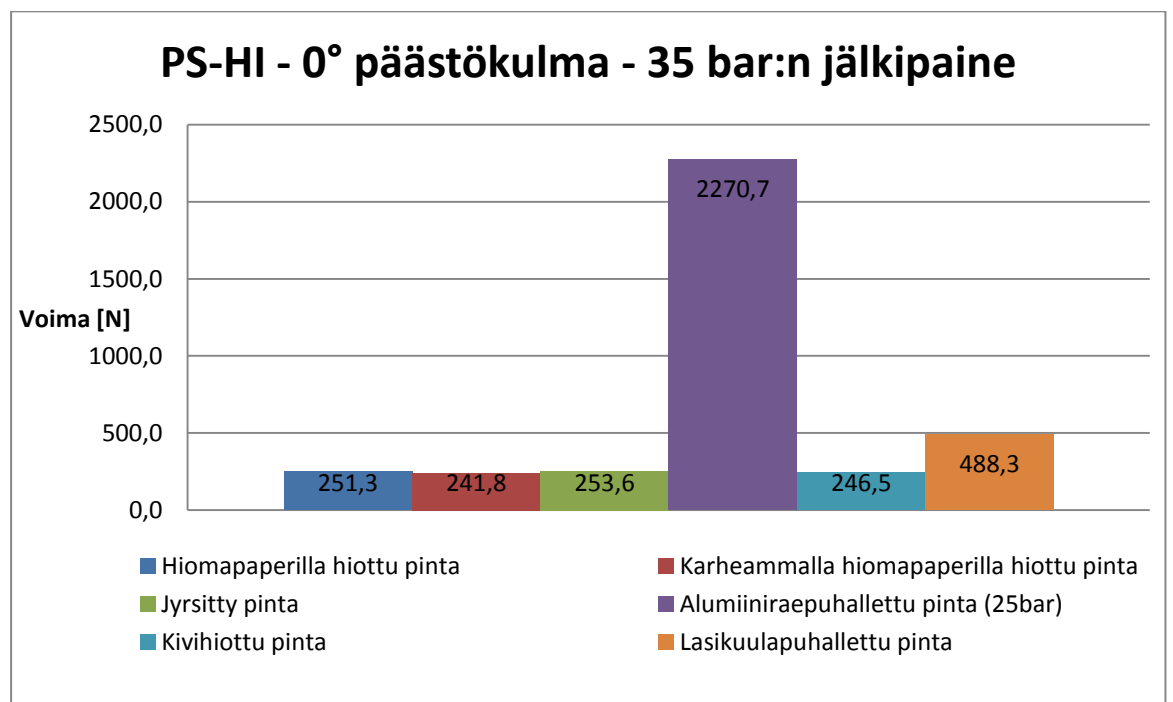
Seuraavissa kuvioissa 29 - 31 on vertailtu pinnankarheuden vaikutusta ulostyöntövoimaan PP:llä, PS:llä ja PS-HI:llä.



KUVIO 29. Polypropeenin ulostyöntövoimat 0°:n päästökulmalla, 35 bar:n jälkipaineella eri pinnankarheuksille

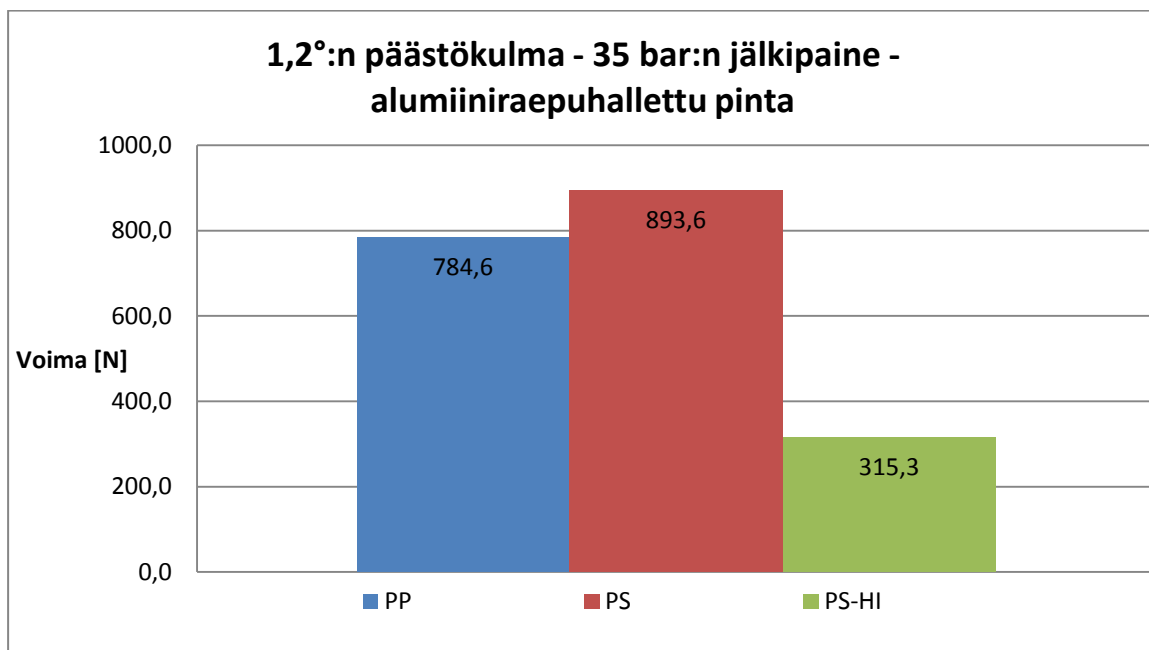


KUVIO 30. Polystyreenin ulostyöntövoimat 0°:n päästökulmalla, 35 bar:n jälkipaineella eri pinnankarheuksille



KUVIO 31. Iskunkestävän Polystyreenin ulostyöntövoimat 0°:n päästökulmalla, 35 bar:n jälkipaineella eri pinnankarheuksille (alumiiniraepuhallettu pinta on 25 bar:n jälkipaineella, koska 35 bar:n jälkipaineella ei saatu kappaletta ulos)

Tuloksista voidaan myös päätellä, että suurimmat ulostyöntövoimat syntyvät  $0^\circ$ :n päästökulmalla, suurimmalla 35 bar:n jälkipaineella ja karheimmalla alumiiniraepuhalletulla pinnalla. Kuviossa 32 on esitetty eri materiaalien erot  $1,2^\circ$  päästökulmalla, 35 bar:n jälkipaineella ja alumiiniraepuhalletulla pinnalla.  $0^\circ$  päästökulmalla syntyisi suuremmat ulostyöntövoimat, mutta kaikista materiaaleista ei saatu tulosta, jolloin vertailevana kulmana käytettiin  $1,2^\circ$ :n päästöä.



KUVIO 32. Materiaalien PP, PS ja PS-HI vertailu alumiiniraepuhalletulla pinnalla,  $1,2^\circ$ :n päästöllä ja 35 bar:n jälkipaineella

Tuloksia tutkiessa PP:n piti olla vähiten kitkaa aiheuttava materiaali ja PS:n eniten sekä PS-HI:n piti sijoittua niiden väliin.

### 6.3 Tulosten analysointi

Muottien pinnat eivät ole koneellisesti tehtyjä, joten pinnankarheuksien suhteen voi varmasti olla joitain eroavaisuuksia. Esimerkiksi hiotuissa pinnoissa ei välttämättä ole kaikkia pintoja karhennettu vertailukelpoisesti. Kuvioissa 10 - 32 mitatut tulokset eivät ole monen tuloksen keskiarvoja. Tuloksien kokoamisen yhteydessä ja niitä analysoidessa huomattiin, että tuloksien luotettavuus kärsii vähäisten testituloksien puuttuessa. Tulosdataa olisi pitänyt olla enemmän jokaista koepistettä varten, jolloin olisi saanut luotettavan keskiarvotuloksen. Koeajoja tehdessä ei mahdollisesti ollut riittävää kokemusta ruiskuvaluprosessin tuotantokäyttäytymisestä, jolloin olisi osannut reagoida syntyviin koeajovirheisiin.

Mielestäni muotin suunnittelussa ja valmistuksessa on tehty virheitä, jolloin se ei täytä tutkimuksellisen muotin ominaisuuksia.

- Muotista puuttui jäähdytys: jouduttiin käyttämään pitkää jäähdytysaikaa ja kappale pääsi kutistumaan jo muotissa, jolloin eri materiaaleilla tulee kutistumaeroja.
- Ulostyöntö: Ulostyönnön kohta ei ollut keskellä, symmetrian vuoksi se ei työnnä kappaletta keskeltä ja mahdollisesti syntyi ulostyönnössä toispuoleinen työntö. Ulostyöntötappi voisi olla muodoltaan suorakulmainen eli kappaleen muotoinen ja pinta-alaltaan suurempi
- Valukanavaan olisi pitänyt suunnitella myös päästöä, jotta se ei vaikuttaisi ulostyönnössä syntyviin voimiin.
- Insertissä on päästöä, mutta se on vain halutun pinnankarheuden puolella eikä molemmilla puolilla kappaletta. Tässä vaiheessa ulostyöntöä vastustava kitka ei ole pinnankarheuden puolella, jota haluttiin mitata vaan vastakkaisella pinnalla, josta puuttuu päästö. Pintaa on hiottu sileämmäksi, jolla yritetään vähentää kitkaa, mutta hionta on tehty poikittaisuuntaisesti ulostyöntöön nähden eikä ulostyönnön suuntaisesti, jolloin se vähentäisi syntyviä kitkoja.

Muottia muokkaamalla enemmän tutkimuksellisemmaksi ja laajemmalla näytämäärällä olisi luotettavampi alkaa analysoida tuloksia, koska nyt tulokset jäivät mielestäni huteralle pohjalle.

## 7 YHTEENVETO

Opinnäytetyössä tutkittiin päästökulman vaikutusta pinnanlaatuun ja ulostyöntövoimiin. Työn tarkoituksena oli selvittää eri materiaalien, päästökulman ja pinnankarheuden vaikutuksia syntyviin pintavirheisiin ja ulostyöntövoimiin.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käsiteltiin työhön valittuja muoveja sekä ruiskuvalumenetelmää, jota käytettiin näytekappaleiden valmistamiseen. Lisäksi käytiin läpi myös pinnankarheuden teoriaa. Polyeteeni jätettiin lopulta pois koeajoista runsaan koeajomäärän vuoksi, koska tutkimuksen kannalta oli miellekkäämpää tutkia myös jälkipaineen vaikutusta ulostyöntöön.

Työosuudessa koeajot vaativat paljon aikaa, koska erilaisia koepisteitä oli niin monta: kolme materiaalia, jotka olivat PP, PS ja PS-HI; kuusi eri pinnankarheutta, jotka olivat alumiinirae puhallettu pinta, lasikuulapuhallettu pinta, jysitty pinta, kivihiottu pinta ja kahdella eri hiekkapaperin karheudella tehtyä pintaa. Lisäksi yhtenä haluttiin tietää erilaisten päästökulmien ( $0^\circ$ ,  $1,2^\circ$ ,  $1,9^\circ$  ja  $4,9^\circ$ ) vaikutukset ulostyöntöön ja pintavirheisiin. Koeajoissa haluttiin myös tutkia kaiken muun yhteydessä jälkipaineen vaikutusta ulostyöntöön ja pintavirheisiin. Nämä kaikki tekijät aiheuttivat myös hankaluuksia löytää yhteiset ajoparametrit kappaleen valmistukseen. Pintavirheitä tutkittiin visuaalisesti ja ulostyöntövoimaa mitattiin ruiskuvalumuotin ulostyöntötappiin lisätyn anturin avulla.

Tuloksista voidaan päätellä, että pintavirheitä syntyy yleisesti sitä enemmän mitä vähemmän päästökulmaa on sekä mitä karheampi pinnankarheus muotissa on. PS oli koeajoissa helpoiten naarmuuntuva materiaali, joka myös synnytti suurimmat ulostyöntövoimat. Ulostyöntövoimien tulosten luotettavuus kärsii melko paljon kahdesta isosta tekijästä: pienestä näytemäärästä sekä muutamista muottiin tehdyistä virhetekijöistä, joilla on hyvin todennäköisesti vaikutusta kappaleen ulostyöntämiseen ja samalla syntyvään maksimiulostyöntövoimaan.

Työ opetti paljon asioita ruiskuvalusta tekijälleen ja sen miten tärkeää on suunnitella asiat hyvin ennen toteutusta. Pienet virheet kostaavat jälkikäteen, ja niiden korjaaminen on silloin vaikeampaa. Opinnäytetyötä voisi jatkossa jatkaa, kun

muottia muokkaisi enemmän tutkimuksellisempaan käyttöön ja minimoisi ylostyöntövoimiin syntyviä virheiden määrää muotissa. Tehdä laajemmat koeajot ja kerätä enemmän analysoitavaa dataa. Lisäksi voisi tutkia vielä sitä miten liikekitka vaikuttaa eri pinnakarheuksilla, päästökulmilla ja jälkipaineilla. Mielenkiintoista voisi olla tutkia myös sitä, miten jäähdytys vaikuttaa ulostyöntötapin jälkeen tai pintavirheisiin muuttamalla eri jäähdytysaikaa, jotta kappale saataisiin ulos mahdollisimman lämpimänä, koska tämän avulla pystyisi nopeuttamaan ruiskuvalun jaksoaikaa tuotannossa ja kappale voisi kutistua haluttuun mittaansa vapaasti.

## LÄHTEET

### Painetut lähteet

Järvelä, P., Syrjälä, K. & Vastela, M. 2000. Ruiskuvalu. Tampere: Plastdata Oy.

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Kurri, V., Malén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2008. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus.

Tähtinen, S. 2009. Pinnanlaadun määrittystekniikat ja mittauslaitteet viimeistelysorvauksen yhteydessä. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Konetekniikan Kandityö.

### Elektroniset lähteet

Ka-Mu Ltd. 2009. Kipinätyöstö ja lankahitsaus. Ka-Mu [viitattu 7.11.2012]. Saatavissa [www.ka-mu.fi/index.php?id=18](http://www.ka-mu.fi/index.php?id=18)

Koleva, M. 2012. Polypropeeni (PP). Valuatlas [viitattu 10.2.2012]. Saatavissa Valuatlaksen tietokannasta: [www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics\\_PP\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PP_FI.pdf)

Nykänen, S. & Vienamo, T. 2012. Päästö. Taideteollinen Korkeakoulu [viitattu 8.2.2012]. Saatavissa [www.muovimuotoilu.fi/content/view/98/141/](http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/98/141/)

Primo. 2012. Polypropeeni PP, osakiteinen polyolefiini. Primo [viitattu 9.2.2012]. Saatavissa [www.primo.fi/PP-2486.aspx](http://www.primo.fi/PP-2486.aspx)

Pro-A Innovation Limited. 2008. SPI MOLD FINISH – Practical Approach. Pro-A Innovation Limited [viitattu 7.11.2012]. Saatavissa [www.professional-plastic-mold-manufacturer.com/knowledge-advice-plastic-injection-molding/spi-mold-finish-practical-approach/](http://www.professional-plastic-mold-manufacturer.com/knowledge-advice-plastic-injection-molding/spi-mold-finish-practical-approach/)



Tampereen Teknillinen Yliopisto. 2010. Ruiskuvalettavan muovituotteen mekaniikkasuunnittelu. Tampereen Teknillinen Yliopisto. [viitattu 7.11.2012]. Saatavissa [www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/PKAMK/PPDF/Polyko\\_PKAMK\\_Final.pdf](http://www.tut.fi/ms/muo/polyko/materiaalit/PKAMK/PPDF/Polyko_PKAMK_Final.pdf)